



# PERANCANGAN KENDALI AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRESS PADA PROSES *DEEP DRAWING* DENGAN PENGENDALI STR-PID

## TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

**MUHAMMAD HUSNUL FIKRI**

**11355104187**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU**

**PEKANBARU**

**2021**



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PERANCANGAN KENDALI AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRESS  
PADA PROSES *DEEP DRAWING* DENGAN PENGENDALI STR-PID**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**MUHAMMAD HUSNUL FIKRI**

**11355104187**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir

Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 23 Februari 2021

Ketua Program Studi Teknik Elektro

**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.**

**NIP. 19750922 200912 2 002**

Pembimbing Tugas Akhir

**Halim Mudia, S.T., M.T.**

**NIK. 130517053**

UIN SUSKA RIAU



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN KENDALI AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRESS PADA PROSES *DEEP DRAWING* DENGAN PENGENDALI STR-PID

#### TUGAS AKHIR

Oleh:

**MUHAMMAD HUSNUL FIKRI**  
**11355104187**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 23 Februari 2021

Pekanbaru, 23 Februari 2021

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Program Studi Teknik Elektro



**Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag.**  
**NIP. 19660604 199203 1 004**

**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.**  
**NIP. 19750922 200912 2 002**

#### DEWAN PENGUJI:

**Ketua** : Rika Susanti, S.T, M.Eng  
**Sekretaris** : Halim Mudia, S.T., M.T.  
**Anggota I** : Ahmad Faizal, S.T., M.T.  
**Anggota II** : Aulia Ullah, S.T., M.Eng.

UIN SUSKA RIAU





## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 17 Februari 2021

Yang membuat pernyataan,

**MUHAMMAD HUSNUL FIKRI**

**11355104187**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## HALAMAN PERSEMBAHAN

**Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang**

Barang siapa Yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu,  
dan barang siapa yang menghendaki kehidupan akhirat,  
maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya,  
maka wajib baginya berilmu.  
(HR.Tirmidzi)

*Terima Kasih Ya Allah ...*

*Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha Pengasih  
namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-Nya tak terbilang.  
Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu  
ya Allah. Lantunan sholawat beriring salam penggugah hati dan jiwa, menjadi  
persembahan penuh kerinduan pada sosok panutan umat, pembangun peradaban manusia  
yang beradab Nabi Besar Muhammad SAW.*

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu  
dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.  
(QS : Al-Mujadilah 11)

*Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalamhidupku yang  
tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa  
sayap dalam hidupku yang tak kenalwaktu siang dan malam selalu menjaga dan  
melindungi hingga aku bisa sampaiseperti sekarang ini, Adik-adik tercinta, seluruh  
keluarga sertasahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang  
doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.*

Dan katakanlah:”Ya Tuhan-ku, masukkan aku ketempat masuk yang benar dan  
keluarkanlah (pula) aku ketempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan  
yang dapat menolongku.”  
(QS: Al-Isra 80)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



# PERANCANGAN KENDALI AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRESS PADA PROSES *DEEP DRAWING* DENGAN PENGENDALI STR-PID

**MUHAMAMAD HUSNUL FIKRI**

**NIM: 11355104187**

Tanggal Sidang: 23 Februari 2021

Tanggal Wisuda:

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. H.R. Soebrantas, km. 15, no. 155, Tuah Madani - Tampan - Pekanbaru

## ABSTRAK

Pada proses *deep drawing* kecepatan gerak aktuator hidrolik merupakan faktor yang krusial untuk menentukan pembentukan benda kerja. Oleh sebab itu diperlukan sebuah sistem kendali yang dapat membantu dalam menjaga kestabilan kecepatan aktuator hidrolik agar dapat mempertahankan kestabilan kecepatannya pada *setpoint* yang diberikan, serta dapat mengatasi gangguan yang mengakibatkan perubahan kecepatan yang terjadi ketika proses berjalan. *Self Tunning Regulator* – PID atau STR-PID merupakan pengendali yang mampu menganalisa perubahan parameter yang terjadi dan mengidentifikasi parameter tersebut untuk mengembalikan ke keadaan yang diinginkan. Berdasarkan simulasi dan analisa yang dilakukan pada kecepatan gerak aktuator hidrolik menggunakan kendali STR-PID dengan menggunakan metode ARMA orde dua untuk pemodelan matematis dari plan diskrit dan estimasi PID menggunakan ELS (*Extended Least Square*), dapat dilihat bahwa kecepatan gerak aktuator dapat bergerak pada keadaan stabil mengikuti *setpoint* yang diberikan serta dapat mengatasi gangguan dengan waktu *recovery* 3,5 detik.

**Kata Kunci :** Aktuator Hidrolik, *Deep Drawing*, STR, PID.





# DESIGN OF PRESS MACHINE HYDRAULIC ACTUATOR CONTROLS IN DEEP DRAWING PROCESS WITH STR-PID CONTROLLER

**MUHAMAMAD HUSNUL FIKRI**

**NIM: 11355104187**

*Examination Date: 23 February 2021*

*Graduation Date:*

*Department of Electrical Engineering*

*Faculty of Science and Technology*

*State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau*

*H.R. Soebrantas St. km. 15, no. 155, Tuah Madani - Tampan - Pekanbaru*

## ABSTRACT

*In the deep drawing process velocity of a hydraulic actuator is a crucial factor for determining the formation of the work piece. Therefore we need a control system that can help in maintaining stability hydraulic actuator speed in order to maintain speed stability at a given set point. and can overcome the problems that resulted in a change of pace that occurs when the process runs. Self Tuning Regulator - PID or STR-PID is a controller that can analyze the changes that occurred and identify the parameters of the parameter to return to the desired state. Based on the simulation and analysis carried out at the velocity of a hydraulic actuator using STR-PID control using a second order ARMA method for mathematical modeling of the plan discrete and estimation PID using the ELS (Extended Least Square), it can be seen that the velocity of the actuator can move in a stable condition following the given set point and can cope with the recovery time of 3.5 seconds.*

**Keywords :** *Hydrolic Actuator, Deep Drawing, STR, PID.*





## KATA PENGANTAR

Assalâmu'alaikum Warahmatullâhi Wabarakâtuh

Dengan mengucapkan *Alḥamdulillâhi Rabbil- 'Âlamîn*, penulis memanjatkan Puji dan Syukur kepada Allâh *Subḥânahu WaTa'âlâ*, Dzat yang tidak serupa dengan makhluk-Nya dan tidak ada satu pun makhluk yang menyerupai-Nya. Shalawat dan Salam semoga senantiasa tercurah kepada makhluk yang paling mulia secara mutlak, yaitu Nabî Agung Muhammad *Shallallâhu 'Alaihi Wasallam*, para keluarganya yang muslim, segenap sahabatnya serta para pengikutnya sampai hari kiamat kelak.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Atas pertolongan dari Allâh, penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan judul **“PERANCANGAN KENDALI AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRESS PADA PROSES DEEP DRAWING DENGAN PENGENDALI STR-PID”**.

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengalaman, dorongan, motivasi dan juga do'a orang-orang yang ada disekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA Riau untuk membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna memperoleh gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Teristimewa ayah, ibu dan saudara penulis serta keluarga besar yang telah mendo'akan, memberikan dukungan dan motivasi agar penulis dapat sukses dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan benar.
2. Bapak Prof. Dr. Suyitno, M.Ag selaku PLT rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Bapak Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.



4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Bapak Mulyono, ST, MT selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Halim Mudia, ST., MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Ibu Rika Susanti, S.T M.Eng selaku ketua sidang yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memimpin jalannya sidang Tugas Akhir ini serta memberikan kritik dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
8. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T. selaku dosen penguji I Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu untuk memberi kritik dan saran terhadap penulisan Tugas Akhir ini.
9. Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji II Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu untuk memberi kritik dan saran terhadap penulisan Tugas Akhir ini.
10. Bapak Ibu dosen yang telah memberikan pengetahuan dan mencurahkan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
11. Teman seperjuangan, Mahasiswa seluruh angkatan 13 dan lain-lain baik dari dalam maupun luar kampus yang telah memberikan dorongan, semangat serta motifasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
12. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca umumnya.

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 23 Februari 2021

Penulis,

**Muhammad Husnul Fikri**

**11355104187**

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.







## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL .....	iv
LEMBAR PERNYATAAN .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	I-1
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.2 Rumusan Masalah .....	I-3
1.3 Tujuan Penelitian .....	I-3
1.4 Batasan Masalah .....	I-4
1.5 Manfaat Penelitian .....	I-4
1.6 Sistematika Penulisan .....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	II-1
2.1 Penelitian Terkait .....	II-1
2.2 Dasar Teori .....	II-3
2.2.1 Hidrolik .....	II-3
2.2.2 Pompa Hidrolik .....	II-5



2.2.3	Silinder Hidrolik .....	II-8
2.2.4	Katup (valve) Hidrolik.....	II-10
2.2.5	Manometer (pressure gauge) .....	II-10
2.2.6	Proses Deep Drawing .....	II-11
2.2.7	Metode Harriot .....	II-11
2.2.8	Identifikasi Sistem .....	II-13
2.3	Sistem Kendali .....	II-15
2.3.1	Propotional Integral Derivative (PID) .....	II-15
2.3.2	Self Tunning Regulator (STR) .....	II-17
2.3.3	ARMA (Auto Regressive Moving Average).....	II-18
2.3.4	ELS (Extended Least Square).....	II-19
2.3.5	Perangkat Lunak MATLAB ( <i>Matrix Laboratory</i> ) .....	II-21
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>III-1</b>
3.1	Alur Penelitian ( <i>Flow Chart</i> ).....	III-1
3.2	Tahapan Penelitian.....	III-2
3.3	Pengumpulan Data .....	III-3
3.4	Model Matematis Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik.....	III-4
3.5	Validasi Model Matematis.....	III-8
3.6	Perancangan kendali STR.....	III-9
3.6.1	Perancangan <i>Plant</i> .....	III-10
3.6.2	Identifikasi Paarameter .....	III-12
3.6.3	Kendali PID Diskrit .....	III-12
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA .....</b>		<b>IV-1</b>
4.1	Gambaran Umum Analisa Sistem.....	IV-1
4.2	Analisa Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Secara <i>Open Loop</i> .....	IV-1



4.2.1	Pengujian Respon Open Loop Terhadap Gangguan.....	IV-5
-------	---	------

4.3	Hasil penegendali STR-PID pada sistem aktuator hidrolik dalam mengikuti <i>setpoint</i> yang diberikan.....	IV-7
-----	---	------

4.4	Analisa Kekokohan Pengendali STR-PID Dalam Mengatasi Gangguan Yang Terjadi Pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik.....	IV-11
-----	--	-------

4.4.1	Gangguan berupa perubahan kecepatan pada kecepatan gerak aktuator hidrolik	12
-------	--	----

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>V-1</b>
---	------------

5.1	Kesimpulan .....	V-1
-----	------------------	-----

5.2	Saran .....	V-1
-----	-------------	-----

## DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A-1

LAMPIRAN A-2

LAMPIRAN B-1

LAMPIRAN B-2

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam penulisan karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fluida dalam pipa menurut hukum Pascal.....	II-4
Gambar 2. 2 Pompa Hidrolik Roda Gigi Dalam .....	II-6
Gambar 2. 3 Pompa Hidrolik Roda Gigi Luar.....	II-6
Gambar 2. 4 Pompa Hidrolik Gerotor .....	II-7
Gambar 2. 5 Pompa Hidrolik Baling-baling.....	II-7
Gambar 2. 6 Pompa Hidrolik Torak ( <i>piston pump</i> ).....	II-8
Gambar 2. 7 Silinder penggerak tunggal ( <i>single acting</i> ).....	II-9
Gambar 2. 8 Silinder penggerak ganda ( <i>double acting cylinder</i> ).....	II-9
Gambar 2. 9 Prinsip kerja Manometer.....	II-10
Gambar 2. 10 Proses <i>deep drawing</i> .....	II-11
Gambar 2. 11 Grafik respon system terhadap waktu untuk menentukan $t_{73}$ .....	II-12
Gambar 2. 12 <i>kurva</i> Harriot .....	II-13
Gambar 2. 13 Respon Sistem Orde Dua.....	II-14
Gambar 2. 14 Diagram Blok <i>Self Tunning Regulator</i> (STR) .....	II-18
Gambar 2. 15 Tampilan Awal Matlab .....	II-21
Gambar 3. 1 <i>Flow Chart</i> Penelitian.....	III-1
Gambar 3. 2 Respon Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Terhadap Waktu .....	III-4
Gambar 3. 3 Cara Menentukan $t_{73}$ .....	III-5
Gambar 3. 4 Cara Menentukan Nilai $t_{33}$ dan $t_{70}$ .....	III-7
Gambar 3. 5 Blok <i>simulink</i> diagram blok <i>open loop</i> kecepatan gerak aktuator hidrolik .....	III-8
Gambar 3. 6 Hasil Simulasi Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Metode Harriot.....	III-8
Gambar 4. 1 Blok <i>Simulink Open Loop</i> Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik .....	IV-2
Gambar 4. 2 Respon <i>Output</i> Secara <i>Open Loop</i> .....	IV-2



Gambar 4. 3	Gambar 4.3 Blok <i>Simulink Open Loop</i> dengan Uji Gangguan.....	IV-6
Gambar 4. 4	Gambar 4. 4 Grafik <i>Respon Open Loop Terhadap Gangguan</i> .....	IV-6
Gambar 4. 5	Gambar 4. 5 Rangkaian Blok Diagram STR-PID pada Aktuator Hidrolik .....	IV-7
Gambar 4. 6	Gambar 4. 6 Grafik <i>Output</i> Kecepatan Aktuator Hidrolik STR-PID .....	IV-8
Gambar 4. 7	Gambar 4. 7 Rangkaian Blok Diagram STR-PID Kecepatan Aktuator Hidrolik Setelah Diberi Gangguan.....	IV-12
Gambar 4. 8	Gambar 4. 8 Hasil Respon STR_PID pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik dalam Mengatasi Gangguan Perubahan Kecepatan .....	IV-12

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan antara kendali P, I, dan D.....	II-17
Tabel 4.1 Analisa Respon <i>Open Loop</i> .....	IV-5
Tabel 4.2 Analisa Respon Aktuator Hidrolik menggunakan STR-PID .....	IV-11

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan teknologi telah memberikan dampak yang cukup besar terhadap berbagai bidang kehidupan salah satunya pada bidang industri. Pada bidang industri pekerjaan dituntut agar memiliki efisiensi kerja dan hasil produksi yang bagus pada waktu bersamaan. Maka oleh sebab itu dibutuhkanlah sebuah pengendali yang tepat untuk meningkatkan efisiensi dan proses produksi. Salah satu contoh industri yang membutuhkan pengendalian di dalamnya adalah industri pembentukan logam. Pada industri ini terjadi proses pembentukan logam (*metal forming*), terutama komponen dengan bahan baku bentuk plat dengan menggunakan mesin press hidrolik. Hidrolik merupakan suatu aktuator yang menggunakan zat cair (*fluid*), untuk melakukan gerakan linear atau rotasi. Hidrolik biasanya digunakan untuk mempermudah pekerjaan yang membutuhkan tenaga dengan tekanan tenaga yang cukup besar. Salah satu penggunaan hidrolik pada bidang industri adalah proses pembentukan logam (*metal forming*), dengan bahan baku logam yang berbentuk plat. Komponen mesin dengan membentuk profil tertentu merupakan hasil proses *deep drawing*. *Deep drawing* merupakan suatu proses pembentukan logam, yang mana bentuk hasil dari proses ini berupa silinder yang memiliki kedalaman tertentu, sedangkan defines *Deep drawing* menurut P.C Sharma yang merupakan professor *production technology drawing* adalah *Deep drawing* atau disingkat *drawing* merupakan proses pembentukan logam, dari lembar logam kedalam bentuk tabung [6]. Pada proses *deep drawing* dapat menghasilkan benda kerja dengan bentuk yang sederhana maupun dalam bentuk yang kompleks. [3].

Pada proses *deep drawing* ini faktor yang mempengaruhi efisiensi dan kualitas dari produksi adalah *punch force*. Pada mesin press dengan penggerak hidrolik, *punch force* dihasilkan oleh gerak dari aktuator hidrolik, dan gerak kecepatan dari aktuator hidrolik dapat dikendalikan dengan menggunakan *propotional solenoid valve*. Pada proses pengendalian gerak kecepatan aktuator hidrolik dapat dilakukan dengan cara mengendalikan debit fluida yang akan masuk kedalam silinder hidrolik. Dengan meningkatkan debit fluidanya maka dapat mempercepat pergerakan dari aktuator hidrolik.



Pada Penelitian [21] dapat dilihat bahwa ketika koefisien gesek meningkat, kedalaman bagian yang dapat dibentuk dan kekuatan yang dapat diberikan pada *punch force* akan berkurang, hal ini dipengaruhi oleh kecepatan gerak dari *puch force* pada proses *deep drawing*. Juga pada penelitian [22] dapat disimpulkan bahwa koefisien gesek pada proses *deep drawing* berkurang seiring dengan peningkatan kecepatan *puch* yang diamati menggunakan beberapa kecepatan yang diujikan pada proses ini. Pada proses analisa simulasi pada penelitian [3], dapat dilihat bahwa grafik respon kecepatan gerak aktuator memiliki respon sistem yang cukup baik, namun dikarenakan belum memiliki kendali maka sistem belum dapat mengatasi bila terjadi gangguan atau perubahan kecepatan gerak aktuator hidrolik, sehingga memerlukan sebuah pengendali agar respon kecepatan gerak aktuator dapat lebih stabil dan dapat mencapai *set point* yang diinginkan ketika terjadi gangguan atau perubahan kecepatan sehingga proses pembentukan benda kerja dapat sesuai dengan yang diinginkan. Hidrolik yang digunakan pada penelitian Masruki dkk[3] memiliki jenis *double acting*, dimana pada jenis ini gerakan pompa hidrolik untuk proses dan naik dan turunnya piston hidrolik dikendalikan oleh *solenoid valve*.

Sangat banyak jenis pengendali yang dapat digunakan pada proses pengendalian plant dalam dunia industri, salah satu contohnya adalah seperti yang dijelaskan pada penelitian [1] mengenai optimasi kecepatan motor dc menggunakan PID dengan *tunning ant colony optimization* (AOC) menunjukkan respon nilai *settling time* yang cepat dan juga memiliki nilai *overshoot* yang cukup kecil. Dan juga pada penelitian [2] mengenai “Analisis penalaan control PID pada simulasi kendali kecepatan motor DC berbeban menggunakan metode Heuristik” menunjukkan bahwa respon dari pengendalian menghasilkan nilai *rise time* yang cukup cepat dan dengan nilai *settling time* yang sangat cepat, serta dengan nilai *error steady state* yang cukup baik. Kemudian pada penelitian [4] mengenai “Rancang bangun pengendalian level air otomatis pada tangki dengan servo valve berbasis PID” menunjukkan kendali PID dapat mengurangi hasil respon *error steady state* yang cukup besar pada plan. Dari beberapa penelitian tersebut dapat dilihat bahwa kendali PID merupakan kendali konvensional yang mampu menghasilkan peformansi yang baik. Namun pada umumnya PID tidak dirancang untuk system non linear yang banyak ketidakpastian (*uncertainties*) dan tidak di disain untuk menghadapi beban yang cepat berubah, sehingga diperlukan kendali lain yang dapat disatukan untuk menutupi



kekurangan kendali PID. Pada penelitian kali ini penulis mengusung untuk menggunakan kendali STR (*self tuning regulator*).

STR merupakan salah satu kendali adaptif yang beradaptasi dan mampu memberikan parameter secara tepat pada kendali PID, karna STR mampu meng-*update* nilai parameter untuk kendali PID dengan cara membaca data yang diterima kemudian STR akan mencari parameter yang tepat pada kendali PID ketika terjadi perubahan kondisi pada sistem agar tetap bekerja pada *setpoint* yang dikehendaki. Hal ini dapat di buktikan pada penelitian [7]. STR memiliki kemampuan *recovery time* yang dapat beradaptasi dengan perubahan beban yang terjadi pada respon sistem.

Sehingga pada penelitian kali ini akan di disain sebuah rancangan kendali berbasis STR-PID untuk memberikan peformansi respon yang lebih baik pada kecepatan hidrolik pada mesin press pada proses *deep drawing*, yang mana di harapkan dapat menanggulangi perubahan gangguan pada sistem secara *real time* dan tetap bekerja pada *setpoint* yang diinginkan.

Dari penjelasan di atas, penulis akan melakukan penelitian dengan judul “**Perancangan Kendali Kecepatan Aktuator Hidrolik Mesin Press pada Proses Deep Drawing dengan Pengendali STR (*self tuning regulator*)-PID**”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana cara merancang pengendali STR-PID pada kendali kecepatan aktuator hidrolik mesin press pada proses *deep drawing* agar dapat mempertahankan kecepatan yang diinginkan ketika terjadi perubahan kecepatan ketika adanya beban

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah merancang kendali STR-PID untuk pengendalian kecepatan aktuator hidrolik pada proses *deep drawing* agar dapat mencapai *setpoint* yang diberikan dan dapat mempertahankan kecepatan yang diinginkan ketika terjadi perubahan kecepatan ketika adanya beban.





#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian hanya berupa simulasi.
2. Metode pendekatan yang digunakan untuk pemodelan matematis kecepatan aktuator hidrolik adalah Metode Harriot.
3. Pengendali yang digunakan adalah STR dengan pendekatan struktur model ARMA orde 2.
4. Algoritma estimasi pada STR yang digunakan adalah ELS.
5. Benda kerja yang dibentuk pada proses ini memiliki material kuningan.
6. Simulasi dilakukan menggunakan *software* Matlab.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah :

1. Manfaat bagi penulis yaitu menambah pengetahuan mengenai perancangan sistem kendali STR-PID untuk aktuator hidrolik mesin press pada proses *deep drawing*.
2. Manfaat bagi mahasiswa Program Studi Teknik Elektro dan pembaca antara lain:
  - a. Menambah referensi bagi mahasiswa lain untuk penulisan tugas akhir mengenai analisa sistem kendali terutama pada hidrolik mesin press.
  - b. Menjadi referensi tambahan mengenai penelitian pengendali STR-PID.
  - c. Sebagai rujukan bagi penelitian yang akan dilakukan dimasa mendatang.
3. Manfaat bagi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah menambah koleksi buku dan referensi di perpustakaan Program Studi Teknik Elektro.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

##### 1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan berkaitan dengan gambaran umum mengenai tugas akhir yang terdiri dari latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

##### 2. BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisi mengenai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya serta pengetahuan dasar yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Teori yang akan



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dibahas pada tugas akhir ini adalah mengenai kecepatan gerak aktuator hidrolik , pemanfaatan hidrolik sebagai mesin press untuk proses *deep drawing*, pemodelan matematis *plant*, perangkat lunak Matlab, serta teori mengenai pengendali STR-PID.

### 3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi mengenai tahapan dalam proses penelitian tugas akhir ini. Dimulai dengan identifikasi dan perumusan masalah, pengumpulan data, analisa dan perancangan, pengujian, serta kesimpulan beserta saran.

### 4. BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisi mengenai pengujian kinerja sistem kendali, identifikasi system dari hasil pengendalian menggunakan pengendali STR-PID.

### 5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian berdasarkan hasil dan analisa yang telah dilakukan serta saran untuk peneliti yang akan melakukan penelitian dengan topik yang berkaitan dengan tugas akhir ini.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab II ini menjelaskan tentang penelitian yang berkaitan dengan judul yang diangkat pada penelitian ini baik dari sisi *plant* yang dikendalikan, parameter yang dikendalikan maupun sistem kendali yang digunakan.

#### 2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan, teori dan referensi didapat dari jurnal, *paper*, buku dan sumber lainnya.

Pada Penelitian yang berjudul “Analisa Pemodelan dan Simulasi Gerak Aktuator hidrolik *punch* pada mesin pres untuk proses *deep drawing*”, pada penelitian ini didapatkan hasil grafik respon gerak kecepatan aktuator hidrolik terhadap waktu, menunjukkan bahwa respon dari sistem sudah mencapai *set point* sehingga hanya diperlukan pengendali, pada penelitian ini [3] agar dapat mengendalikan sistem agar dapat tetap bekerja pada *setpoint* yang diinginkan meskipun terjadi perubahan respon terhadap sistem yang disebabkan gangguan secara *real time*.

Pada Penelitian yang berjudul “Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban Menggunakan Metode Heuristik”, pada penelitian ini Metode Heuristik dapat mengurangi nilai *error steady state*, pada penentuan parameter kendali PID untuk mendapatkan respon yang paling ideal menggunakan sistem *tunning* manual, yang dimulai dari tahap perancangan P,PI,PD baru kemudian dilanjutkan dengan perancangan PID.[2]

Pada penelitian yang berjudul “Studi Performansi Pengendali SMC dan PID pada Pengendalian Kecepatan Motor DC”, di penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengendali SMC-PID mendapatkan respon peforma yang bagus, dengan respon mencapai *setpoint* yang diinginkan dengan dapat menanggulangi gangguan yang terjadi, serta mengurangi *error* saat sesudah ditambahkan PID pada pengendali SMC. *Tunning* PID pada kendali ini dilakukan secara manual untuk menghasilkan keluaran yang paling optimal.[8]



Dari beberapa penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan parameter dari nilai PID masih menggunakan *tunning* manual atau menggunakan metode *trial and error* untuk menemukan kondisi keluaran yang paling optimal. Oleh karena itu diperlukan sebuah kendali adaptif yang mampu beradaptasi dan melakukan *auto tunning* terhadap parameter PID, salah satu contohnya yaitu kendali *self tunning regulator* (STR). Sehingga sistem dapat melakukan proses *auto tunning* agar keluaran tetap berada pada kondisi optimal meskipun terjadi perubahan gangguan pada sistem dalam kondisi *real time*.

Salah satu penelitian yang menggunakan *auto tunning* pada PID berjudul “Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan PID Dengan *Tuning Ant Colony Optimization* (ACO) Controller”, pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sistem *auto tunning* dapat mendapatkan *settling time* yang cukup cepat dan nilai *overshoot* yang relatif kecil, sehingga mendapatkan hasil yang cukup optimal.

Pada penelitian yang berjudul “Perancangan Kontroller PID STR (*Self Tuning Regulator*) Direct untuk mengendalikan Frekuensi Pembangkit Listrik Mini Hidro”, dapat disimpulkan bahwa respon dapat bekerja dengan baik dengan berbagai variasi beban sesuai spesifikasi yang diinginkan dengan nilai *settling time* dan *overshoot* menjadi lebih baik dan stabil`.[5]

Pada penelitian yang berjudul “Perancangan dan Implementasi Kontroler PID Adaptif dengan Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa”, pada penelitian ini bahwa kontrol PID adaptif dengan menggunakan kendali STR dapat beradaptasi dengan perubahan beban dengan kemampuan *recovery* secara *real time*. [7]. Dari beberapa penelitian menggunakan kendali adaptif dan STR diatas dapat disimpulkan bahwa STR bekerja dengan cara memeriksa dan membaca data yang didapatkan oleh sistem, yang kemudian STR akan mencari parameter yang tepat untuk kendali PID agar keluaran tetap terjaga pada *setpoint* yang diinginkan. STR juga dapat menyesuaikan perubahan yang terjadi pada respon sistem dengan kemampuan *recovery time*, Sehingga dapat disimpulkan STR cukup bisa mengatasi apabila terjadi gangguan pada sistem secara *real time*.

Dari beberapa studi literatur diatas, maka digunakanlah kendali STR *hybrid* PID untuk mengendalikan kecepatan gerak aktuator hidrolik pada proses *deep drawing*, guna





menjaga kestabilan sistem dan dapat menanggulangi gangguan secara *real time* dengan kendali STR-PID

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Hidrolik

Hidrolik berasal dari bahasa *greek* (Yunani), terdiri dari kata *hydro* yang berarti air dan *aulos* yang berarti pipa. Sehingga dapat diartikan bahwa hidrolik merupakan sebuah sistem yang memanfaatkan pipa dan cairan. Sistem hidrolik merupakan sebuah teknologi yang memanfaatkan fluida (zat cair) untuk melakukan suatu gerakan linear ataupun putaran, pada sistem kerja hidrolik fluida ini digunakan sebagai media penerus gaya. Dimana fluida penghantar ini dinaikan tekanannya oleh pompa pembangkit tekanan kemudian diteruskan ke silinder kerja melalui pipa-pipa saluran dan katup-katup. Gerakan translasi batang piston dari silinder kerja yang diakibatkan oleh tekanan fluida pada ruang silinder dimanfaatkan untuk gerak maju maupun gerakan mundur. Prinsip dasar dari sistem hidrolik adalah “jika suatu zat cair dikenakan tekanan, maka tekanan itu akan merambat ke segala arah dengan tidak bertambah atau berkurang kekuatannya” (Hukum Archimedes).

Seorang ilmuwan Francis bernama Blaise Pascal (1623 -1662) menemukan prinsip dasar tentang fluida yang ada kaitannya dengan cairan sebagai tenaga yang melipat gandakan gaya dan modifikasi gerakan-gerakan. Pascal menyatakan bahwa : “Tekanan yang diberikan pada suatu fluida, akan diteruskan ke segala arah, bekerja dengan gaya yang sama besar pada luas yang sama dan bergerak kearah tegak lurus terhadap titik-titik mereka bekerja”. Jadi dapat disimpulkan dari hukum Pascal bahwa setiap terjadi suatu peningkatan tekanan yang terjadi pada permukaan fluida, maka fluida akan meneruskan tekanan ke segala arah. Hidrolik juga dapat didefinisikan sebagai transmisi dan pengontrol gaya-gaya dan pergerakan fluida.

Sebuah sistem hidrolik pada dasarnya memiliki sifat yang tidak linear, maka dioperlukan sebuah langkah pendekatan simplifikasi dalam memudahkan identifikasi model. Pada persamaan hukum pascal pada sistem tertutup digambarkan dengan persamaan sebagai berikut:



$$P_1 = P_2 \quad (2.1)$$

Sebagaimana kita ketahui bahwa tekanan adalah gaya yang dibagi dengan luas penampangnya

$$P = F/A \quad (2.2)$$

Maka persamaan 2.1 dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (2.3)$$

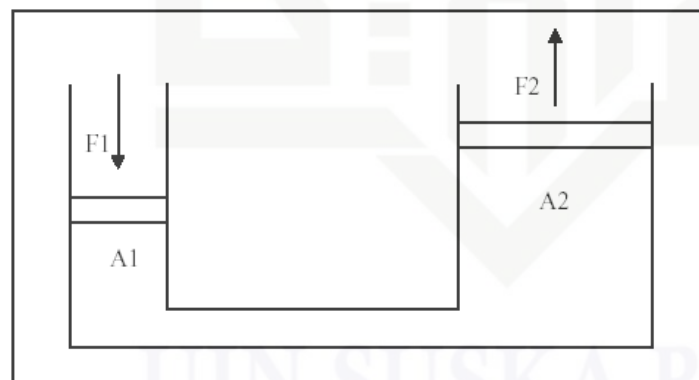
Dimana :

$F_1$  = Gaya masuk

$F_2$  = Gaya keluar

$A_1$  = Diameter piston kecil

$A_2$  = Diameter piston besar



Gambar 2. 1 Fluida dalam pipa menurut hukum Pascal

Pada gambar 2.1 diatas memperlihatkan dua buah silinder yang diisi cairan dan saling terhubung dengan memiliki diameter yang berbeda. Apabila beban F diletakkan pada silender kecil, tekan P yang dihasilkan akan diteruskan ke silinder besar menurut



hukum pascal ini, penambahan tekanan dengan luas rasio penampang silinder kecil dan silinder besar.

Pada persamaan 2.3 dapat diketahui besarnya  $F_2$  dipengaruhi oleh besar kecilnya luas penampang  $A_1$  dan  $A_2$ . Pada sistem hidrolik hal ini digunakan untuk merubah tekanan fluida yang dihasilkan oleh pompa hidrolik untuk menggeser silinder kerja maju dan mundur ataupun gerak naik dan turun sesuai posisi dari silinder. Daya yang dihasilkan silinder kerja hidrolik lebih besar dari pada daya yang dikeluarkan oleh pompa hidrolik. Besar kecilnya luas penampang kerja hidrolik.[9]

Sebuah sistem hidrolik pada dasarnya memiliki beberapa komponen untuk menjadi sebuah unit sistem hidrolik yaitu pompa hidrolik, silinder kerja hidrolik, katup (*valve*), manometer (*pressure gauge*), dan lain sebagainya, namun yang menjadi inti dari sebuah sistem hidrolik adalah pompa dan silinder hidrolik, komponen lainnya merupakan komponen yang menjadi pelengkap sebuah sistem hidrolik.

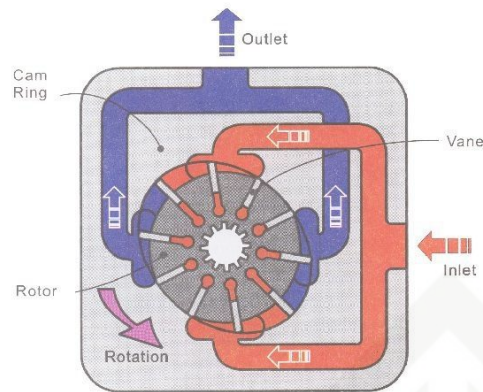
### 2.2.2 Pompa Hidrolik

Pompa hidrolik Pada sebuah sistem hidrolik pompa merupakan inti dari sistem tersebut untuk mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolik dengan memompa fluida ke dalam sistem hidrolik. Dalam sistem hidrolik pompa adalah alat yang membangkitkan aliran fluida dan juga memberikan gaya yang diperlukan. Pompa ini digerakan secara mekanis oleh motor listrik. Dalam penggunaannya, pompa hidrolik dapat dikategorikan dalam beberapa jenis diantaranya[10] :

#### 1. Pompa Hidrolik Roda Gigi (*gear pump*)

Pompa hidrolik roda gigi merupakan jenis pompa yang menghasilkan energi dari putaran dua roda gigi yang berputar, dari gerakan tersebut akan muncul daya hisap yang mengakibatkan fluida dapat mencapai saluran tekanan pada sistem hidrolik. Berikut jenis pompa hidrolik roda gigi berdasarkan struktur letak *gear*-nya:

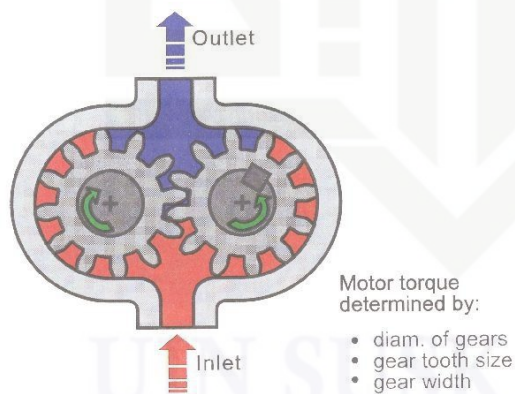
## a. Roda Gigi Dalam



Gambar 2. 2 Pompa Hidrolik Roda Gigi Dalam[11]

Jenis hidrolik ini memanfaatkan dua buah roda gigi, Roda gigi yang pertama berukuran lebih besar dan bekerja sebagai rotor yang menggerakkan roda gigi kecil. Fluida akan mengalir melalui *suction port* dan kemudian mengalir di sela-sela roda gigi.

## b. Roda Gigi Luar



Gambar 2. 3 Pompa Hidrolik Roda Gigi Luar[11]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

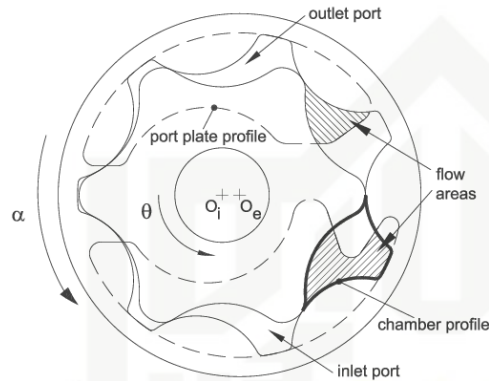


#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Berbeda dari roda gigi dalam yang memanfaatkan dua buah roda gigi yang berbeda ukuran, roda gigi luar menggunakan dua roda gigi yang berukuran sama, fluida mengalir melalui saluran *inlet*, melalui celah antara roda gigi dan dinding, kemudian keluar melalui *outlet*.

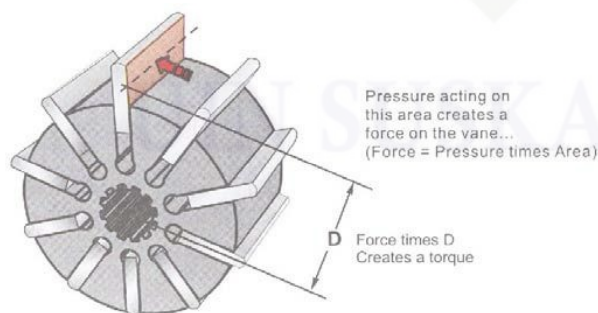
### 2. Pompa Hidrolik Gerotor



Gambar 2. 4 Pompa Hidrolik Gerotor [12]

Pompa Hidrolik Gerotor merupakan pompa yang digerakkan oleh dua rotor, rotor yang pertama (*inner rotor*) memiliki fungsi sebagai penggerak dan rotor yang kedua (*outer rotor*) adalah rotor yang digerakkan. Fluida masuk ke ruang penggerak melalui saluran *inlet*, kemudian diteruskan melalui gigi-gigi rotor hingga keluar dari saluran *outlet*.

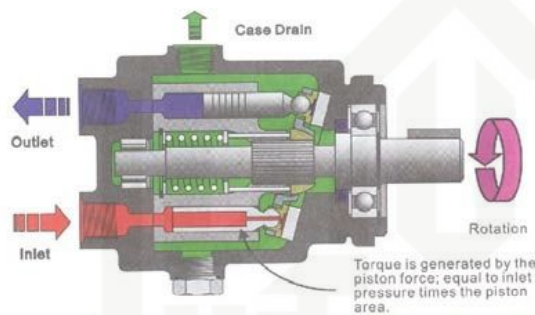
### 3. Pompa Hidrolik Baling-Baling (*vane pump*)



Gambar 2. 5 Pompa Hidrolik Baling-baling [11]

Pompa Hidrolik ini merupakan pompa yang digerakkan oleh baling-baling dengan menggunakan rotor, serta memiliki dua saluran *inlet* dan dua saluran *outlet* berbentuk elips dan saling berlawanan arah.

#### 4. Pompa Hidrolik Torak (*piston pump*)



Gambar 2. 6 Pompa Hidrolik Torak (*piston pump*)[11]

Pompa hidrolik torak merupakan pompa yang digerakkan oleh piston untuk menekan fluida menggunakan silinder yang terdapat pada *check valve* agar masuk ke saluran tekan. Posisi torak (piston) dan silinder pada pompa ini sejajar dengan as, Pompa hidrolik torak (*piston pump*) adalah jenis pompa hidrolik yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan proses *deep drawing* pada penelitian ini.

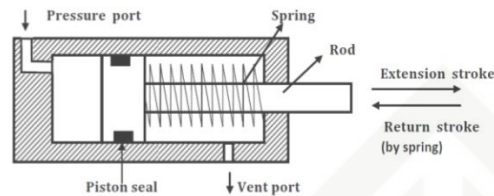
#### 2.2.3 Silinder Hidrolik

Silinder hidrolik merupakan komponen penyusun sistem hidrolik yang memiliki fungsi sebagai penyalur dan perubah gaya dari tekanan yang dihasilkan fluida menjadi gerakan *linear*. Dimana pada silinder ini fluida akan mendesak piston untuk bergerak dan melakukan gerak translasi, kemudian gerakan ini akan diteruskan ke bagian mesin melalui batang torak (piston). Berdasarkan jenis struktur konstruksinya silinder hidrolik terbagi atas dua jenis yaitu silinder penggerak tunggal (*single acting cylinder*) dan silinder penggerak ganda (*double acting cylinder*).

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 1. Silinder Penggerak Tunggal (*single acting cylinder*)

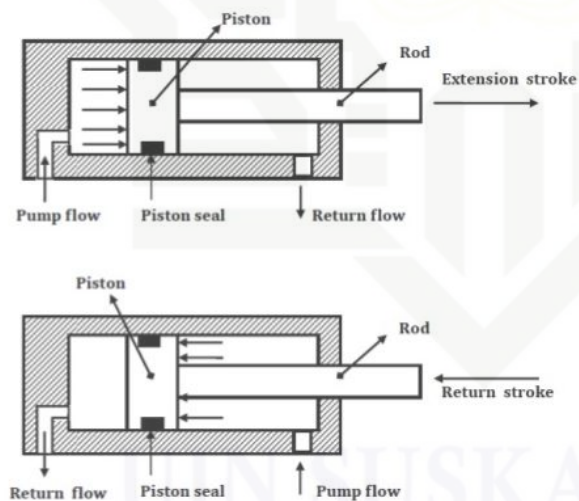
Silinder penggerak tunggal merupakan silinder yang hanya memiliki sebuah ruang fluida didalamnya, sehingga menyebabkan silinder jenis ini hanya dapat melakukan gerakan menekan, dan untuk kembali ke posisi semula piston memanfaatkan gaya grafitasi maupun tenaga dari luar.



Gambar 2. 7 Silinder penggerak tunggal (*single acting*)[12]

### 2. Silinder Penggerak Ganda (*double acting cylinder*)

Silinder penggerak ganda merupakan silinder yang memiliki dua buah ruang fluida didalamnya, yaitu ruang dibawah piston dan diatas piston, namun ukuran ruang di bawah piston lebih besar dibandingkan ruang diatas piston. Dengan struktur tersebut memungkinkan untuk tekanan fluida hidrolik untuk menggerakkan piston maju dan mundur atau gerakan bolak balik.



Gambar 2. 8 Silinder penggerak ganda (*double acting cylinder*)[12]

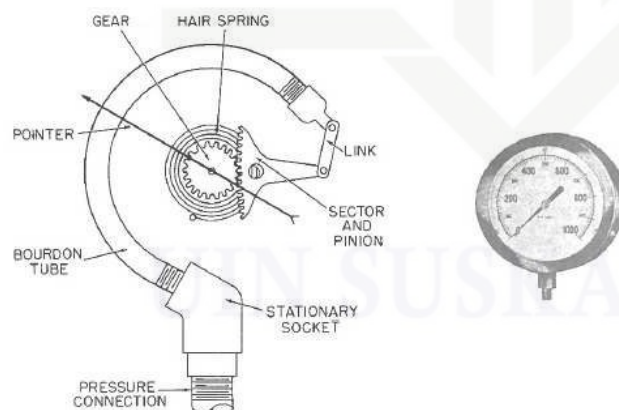


#### 2.2.4 Katup (valve) Hidrolik

Pada sebuah sistem hidrolik katup (*valve*) merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengatur tekanan serta aliran fluida yang akan menuju silinder hidrolik. Katup (*valve*) ini memiliki beberapa jenis salah satu jenisnya yaitu *servo valve* merupakan katup yang digerakkan oleh motor servo, *solenoid valve* merupakan katup yang digerakkan oleh tarikan medan magnet yang ditimbulkan dari solenoid elektromagnetik, *air valve* merupakan katup yang digerakkan menggunakan tekanan udara yang dihasilkan kompresor dan masih banyak lagi jenis lainnya.

#### 2.2.5 Manometer (pressure gauge)

Manometer merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengukur tekanan pada sistem hidrolik. Pada konstruksinya manometer terletak pada katup pengatur tekanan (*valve*). Prinsip kerja alat ini ditemukan oleh Bourdon. Fluida akan masuk ke *valve* melalui lubang saluran *pressure connection*, tekanan yang dalam *bourdon tube* menyebabkan pipa memanjang. Tekanan yang masuk lebih besar akan mengakibatkan belokan radius yang lebih besar pula. Gerakan perpanjangan pipa tersebut akan dikonversikan ke satuan jarum penunjuk (*pointer*), melewati tuas penghubung (*link*), *sector and pinion*, dan *gear* akan memutar *hair spring* yang akan menggerakkan *pointer*. Tekanan pada saluran masuk dapat dibaca pada garis lengkung skala penunjuk. Prinsip kerja alat ini masih menggunakan sistem analog.



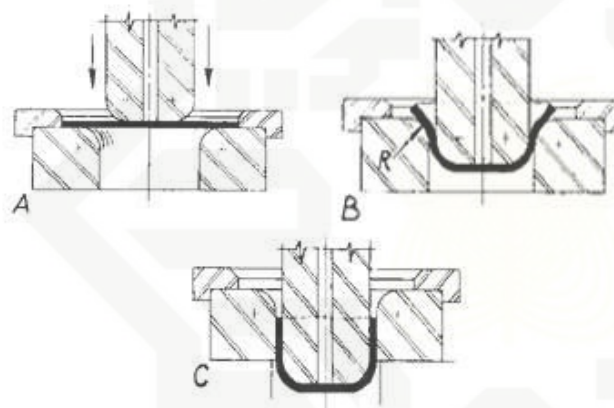
Gambar 2. 9 Prinsip kerja Manometer [13]



### 2.2.6 Proses Deep Drawing

Proses *deep drawing* biasa disingkat *drawing* merupakan sebuah proses pembentukan logam, pada umumnya logam yang dibentuk berupa plat yang kemudian dibentuk menjadi sebuah silinder yang memiliki kedalaman tertentu. Sedangkan definisinya menurut P.C Sharma professor *production and technologi, drawing* adalah proses pembentukan logam ke dalam bentuk tabung.[6]

Proses dilakukan dengan menekan sebuah material benda kerja yang berupa lembaran logam (*blank*) sehingga mengikuti bentuk *dies*. Bentuk akhir dari proses tersebut ditentukan oleh *punch* yang berfungsi sebagai penekan dan *dies* berfungsi sebagai penahan benda kerja.



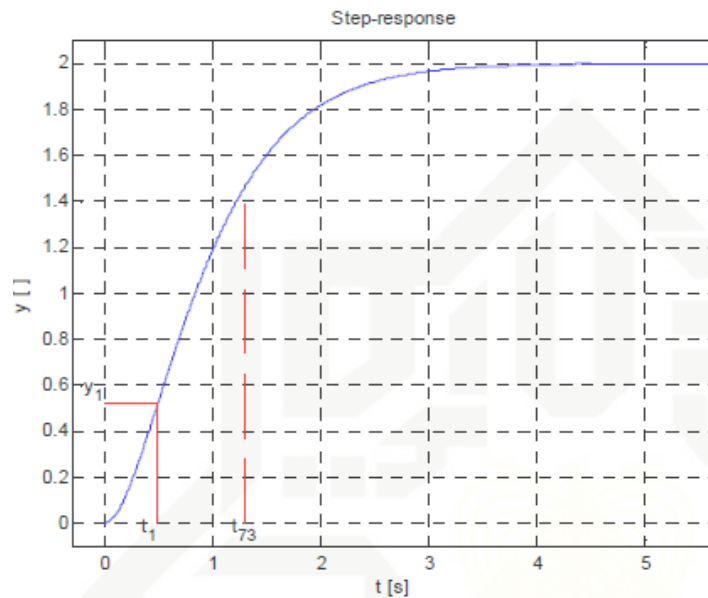
Gambar 2. 10 Proses *deep drawing* [6]

### 2.2.7 Metode Harriot

Pada jurnal penelitian Masruki Khabib [3], dapat kita lihat grafik respon kecepatan gerak hidrolik terhadap waktu, dimana kita dapat melakukan pendekatan pemodelan matematis menggunakan metode Harriot untuk mendapatkan *transfer function* orde dua dari respon tersebut menurut ketentuan dari jurnal milik Ing. Pavel Jakubek yang berjudul “*Experimental Identification of Stable Nonoscillatory Systems from Step-Responses by Selected Method*”. [15]

Metode Harriot ini dipilih untuk menurunkan pemodelan matematis karena metode ini akan menghasilkan persamaan orde dua yang diperlukan untuk pengendalian pada penelitian ini.

Pada metode ini pemodelan matematis didapatkan dari grafik respon kecepatan terhadap waktu ketika sistem mencapai kecepatan 73%.



Gambar 2. 11 Grafik respon system terhadap waktu untuk menentukan  $t_{73}$ [15]

Untuk menentukan persamaan matematis, pada metode Harriot dapat digunakan persamaan berikut:

$$G_H(s) = \frac{K}{(\tau_{H1}s+1)(\tau_{H2}s+1)} e^{-T_{dH}s} \quad (2.4)$$

Menentukan nilai  $t_{73}$  yaitu dengan mengamati waktu respon mencapai 73% berdasarkan gambar, kemudian hitunglah nilai  $T_{dH}$ ,  $\tau_{H1} + \tau_{H2}$ , dan  $t_i$  melalui persamaan:

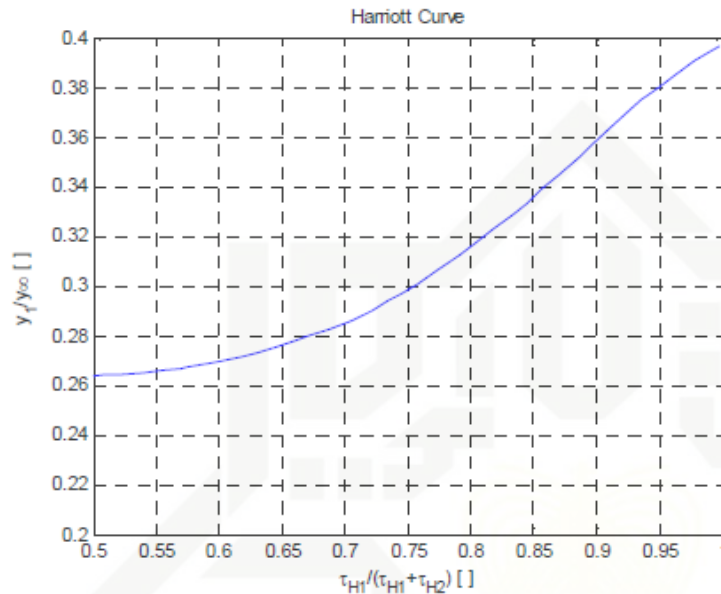
$$T_{dH} = 1,937t_{33} - 0,937t_{70} \quad (2.5)$$

$$\tau_{H1} + \tau_{H2} = \frac{\tau_{73}}{1,3} \quad (2.6)$$

$$ti = \frac{\tau_{ST1} + \tau_{ST1}}{2}$$

(2.7)

Tentukan nilai  $y_i$  yaitu nilai respon saat itu, Setelah itu hitung nilai  $y_i/y_{ss}$  untuk mendapatkan nilai melalui grafik pada  $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$



Gambar 2. 12 *kurva* Harriot [15]

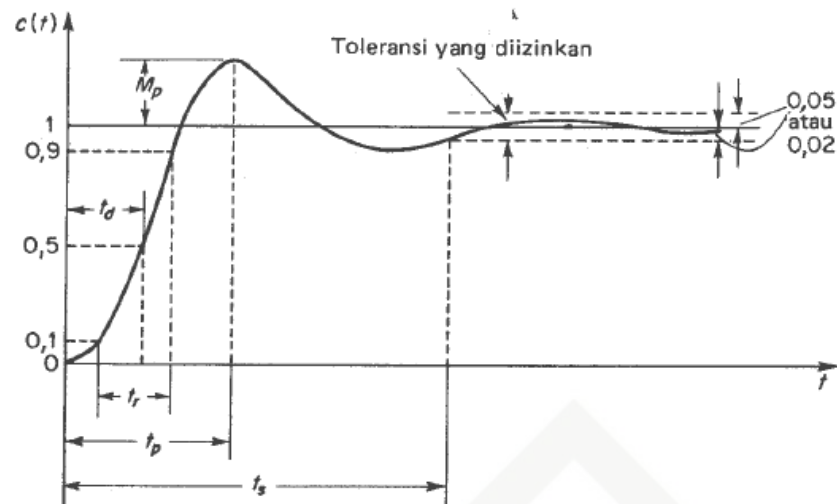
Dengan mensubstitusi nilai  $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$  pada persamaan  $\tau_{H1} + \tau_{H2} = \frac{\tau_{73}}{1.3}$  maka didapat

nilai  $\tau_{H1}$  dan  $\tau_{H2}$ .

## 2.2.8 Identifikasi Sistem

Metode identifikasi statis memiliki berbagai macam metode, salah satunya adalah metode pengamatan respon sistem dengan memberikan sinyal masukan dari sinyal *step* kepada sistem. Dari respon ini agar dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem. Sistem yang digunakan pada penelitian Masrui Khabib dkk[3], setelah dilakukan pendekatan matematis menggunakan metode Harriot mendapatkan Sistem orde dua yang memiliki kondisi redaman kritis (*critically damped*) maka identifikasi karakteristik sistem dapat menggunakan identifikasi sistem orde dua.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 13 Respon Sistem Orde Dua [16]

Respon transien terdiri dari :

1. Spesifikasi teoritis :

Konstanta waktu ( $\tau$ ) merupakan waktu yang dibutuhkan respon mulai dari  $t = 0$  hingga respon mencapai 63,2% dari keadaan *steady state*. Konstanta waktu menyatakan percepatan respon dari system. Semakin kecil konstanta waktu respon sistem akan lebih cepat.

2. Spesifikasi praktis:

- a. Waktu tunak atau *settling time* ( $t_s$ ) merupakan ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah mencapai daerah stabil, jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_s$  dapat diformulasikan sebagai berikut:

$t_s(\pm 2\%)$  mendekati *set point* untuk mencapai konstan.

$t_s(\pm 5\%)$  mendekati *set point* untuk mencapai konstan.

- b. Waktu naik atau *rise time* merupakan ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik dari nilai respon keadaan tunak (*steady state*). Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_s$  maka dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$t_r = (10\% - 90\%) \times \text{steadystate} \quad (2.8)$$





- c. Waktu tunda atau *delay time*  $t_d$  adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai  $t = 0$  sampai respon mencapai 50% dari nilainya pada keadaan tunak (*steady state*). Waktu tunda menyatakan besarnya faktor keterlambatan respon akibat proses *sampling*. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_d$  dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$t_d = 50\% \times \text{steadystate} \quad (2.9)$$

- d. Karakteristik respon keadaan tunak (*steady state*) system orde satu diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state* ( $e_{ss}$ ).

$$e_{ss} = R_{ss} - C_{ss} \quad (2.10)$$

Dengan  $C_{ss}$  dan  $R_{ss}$  masing-masing adalah keluaran dan masukan sistem pada keadaan tunak.

- e. Waktu puncak (*peak time*,  $t_p$ ), merupakan waktu yang diperlukan saat mencapai puncak pertama (*overshoot*)
- f. Maksimum *overshoot* ( $M_p$ ) merupakan perbandingan antara waktu puncak (*overshoot*) yang melampaui keadaan tunak (*steady state*) dibandingkan dengan nilai *steady state*. Besarnya nilai maksimum *overshoot* dinyatakan dalam bentuk persen sebagai berikut :

$$\%M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.11)$$

*Overshoot* hanya terjadi saat keadaan bentuk respon *under damped*.

## 2.3 Sistem Kendali

### 2.3.1 Propotional Integral Derivative (PID)

*Propotional Integral Derivative* (PID) merupakan sebuah pengendali untuk menentukan presisi pada suatu sistem instrumentasi yang memiliki umpan balik atau *feedback* pada sistem tersebut. PID terdiri atas tiga jenis perpadauan kendali yaitu Proposional, Integral, dan Desrvatif. Ketiga jenis kendali tersebut dapat digunakan



bersamaan ataupun satu persatu tergantung terhadap respon yang diinginkan terhadap *plant* yang akan dikendalikan. [16]

Bentuk umum dari kendali PID adalah sebagai berikut:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de}{dt} \quad (2.12)$$

Kemudian diturunkan kedalam bentuk Laplace menjadi:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \quad (2.13)$$

Dimana :

$k_p$  = Proporsional *Gain*

$k_i$  = Integral *Gain*

$k_d$  = Derivatif *Gain*

Kendali Proporsional ( $K_p$ ) dapat digunakan untuk mengurangi waktu naik atau *rise time*, namun tidak menghilangkan *error steady state*. Kendali Integral ( $K_i$ ) dapat digunakan untuk menghilangkan nilai *error steady state* namun dapat memperburuk pada saat menanggapi respon. Kendali Derivatif ( $K_d$ ) dapat digunakan untuk menjaga kestabilan sistem, mengurangi *error steady state* serta menekan respon transien. Maka dari itu dibutuhkan sebuah proses penalaan atau *tunning* pada PID untuk mendapatkan hasil respon sistem yang diinginkan. Hubungan antara ketiga kendali tersebut dapat dilihat pada table berikut:



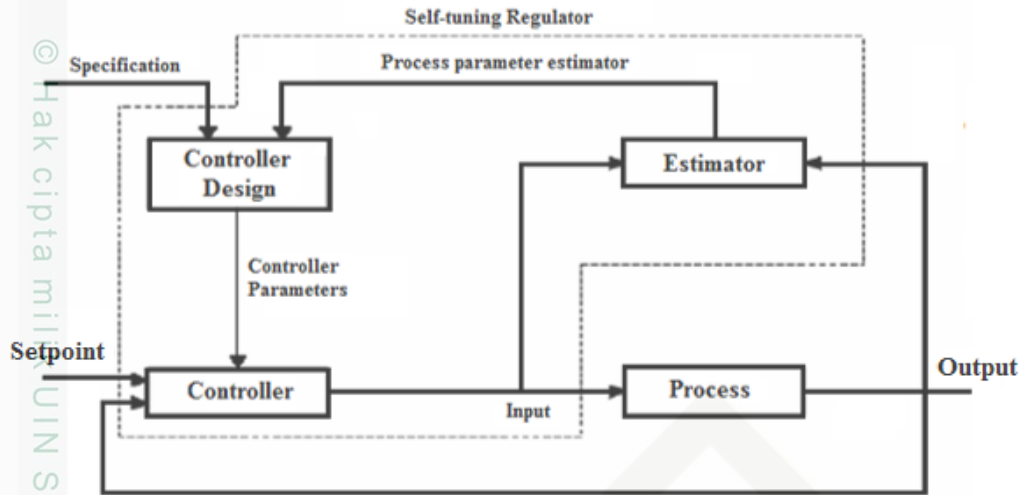
Tabel 2. 1 Hubungan antara kendali P, I, dan D [16]

Respon <i>loop</i> tertutup	Waktu naik	<i>Overshoot</i>	Waktu turun	Kesalahan keadaan tunak
$K_p$	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
$K_i$	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
$K_d$	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

### 2.3.2 Self Tunning Regulator (STR)

*Self Tunning Regulator* (STR) merupakan sebuah kendali adaptif, dimana adaptif sendiri merupakan pengaturan yang memiliki algoritma untuk merevisi nilai parameter atau struktur kendali yang akan mengikuti perubahan yang terjadi pada parameter *plan* sehingga sistem yang dikendalikan tetap berada pada kondisi yang diinginkan.[16]

STR terdiri atas beberapa bagian, yaitu: Blok *Estimator* yang berfungsi mempresentasikan proses estimasi parameter secara langsung dengan menggunakan metode *Extended Least Square*. Blok *Controller Design* yang berfungsi mempresentasikan penyelesaian langsung untuk desain *problem* dari parameter yang telah diidentifikasi sebelumnya untuk menghasilkan parameter kendali terbaru sesuai kondisi saat itu atau *real time*. Terakhir pada blok *controller* berfungsi untuk menghitung aksi kendali yang akan diberikan kepada objek dengan parameter kendali yang telah dihitung pada blok sebelumnya. Sehingga sistem dapat disebut sebagai otomasi proses *modeling (estimation)* dan *design*. Yang mana model dari proses dan desain kendali diperbarui setiap saat atau *real time*. [7]



Gambar 2. 14 Diagram Blok *Self Tunning Regulator* (STR) [7]

Blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 2.14 mempunyai banyak pilihan yang dapat digunakan untuk model dan struktur dari sistem kendali adaptif. Pada Tugas Akhir ini, struktur model plant akan menggunakan ARMA orde 2 dengan proses diestimasi menggunakan algoritma ELS.

### 2.3.3 ARMA (Auto Regressive Moving Average)

ARMA (*Auto Regressive Moving Average*) merupakan sebuah pendekatan struktur orde dua [16] yang mengubah *plant* yang memiliki sistem *countinue* (s) menjadi diskrit (z) [17]. Dimana pemodelan diskrit harus memenuhi ketentuan sesuai aturan yang berlaku pada ARMA orde dua, yaitu:

$$a_0Y(k) + a_1Y(k-1) + a_2Y(k-2) + \dots + a_nY(k-n_A) = b_0X(k-d) + b_1X(k-d-1) + \dots + b_{n_B}X(k-d-n_B) \quad (2.14)$$

Dengan menggunakan transformasi Z maka dapat diperoleh:

$$(a_0 + a_1z^{-1} + a_{n_A}z^{-n_A})Y(z) = (b_0z^{-d} + \dots + b_{n_B}z^{-d-n_B}) \quad (2.15)$$

$$Y(z) = \frac{z^{-d}(b_0 + \dots + b_{n_B}z^{-n_B})}{a_0 + a_1z^{-1} + a_{n_A}z^{-n_A}} \quad (2.16)$$





### 2.3.4 ELS (Extended Least Square)

Pada kendali STR di perlukan sebuah proses identifikasi sistem, dimana identifikasi sistem ini merupakan proses identifikasi untuk menentukan pemodelan matematis dari sebuah sistem. Identifikasi pada kendali STR menggunakan algoritma *Recursive Least Square* (RLS). RLS merupakan suatu metode estimator dari identifikasi parameter agar sistem memiliki sifat adaptif. Estimasi akan diproses secara *real time*, *input* dan *output* pada *plant* digunakan untuk algoritma estimasi. [7] Algoritma RLS memiliki laju konvergensi yang lebih cepat dan kesalahan yang lebih sedikit. Pada prinsipnya metode ini menghitung parameter-parameter yang tidak diketahui dari suatu model matematis, parameter tersebut dipilih dengan meminimalkan kuadrat antara pengamatan aktual dan *output* yang diperkirakan dengan nilai dari pembobot yang menentukan tingkat akurasi dari parameter yang akan diestimasi. Kriteria dari RLS berbentuk kuadratik, sehingga solusi analitik dari masalah RLS akan ada sepanjang parameter yang diukur adalah linear. Pada sistem kendali adaptif pengamatan data diproses secara *real time*, oleh sebab itu sangat tepat untuk estimasi parameter secara *real time*.

Secara umum model dari sebuah proses dapat ditulis sebagai berikut:

$$Gp(z^{-1}) = \frac{z^{-d} N(z^{-1})}{D(z^{-1})} \quad (2.17)$$

Dimana  $d$  adalah *time delay*  $n \geq m + d$

$$N(z^{-1}) = \beta_0 + \beta_1 z^{-1} + \dots + \beta_m z^{-m} \quad (2.18)$$

$$D(z^{-1}) = \alpha_0 + \alpha_1 z^{-1} + \dots + \alpha_m z^{-m} \quad (2.19)$$

Dalam persamaan:

$$Y(k) = -a_1 Y(k-1) - a_2 Y(k-2) + \dots + a_n Y(k-n) + b_0 U(k-d) + \dots + b_m U(k-d-m) \quad (2.20)$$



Dalam bentuk vector  $y(k) = \varphi^T(k)\theta$  dimana:

$$\theta = [a_1 a_2 b_0 b_1] \quad (2.21)$$

$$\varphi^T(k) = [-y(k-1), -y(k-2), \dots, -y(k-n_A), u(k-d), u(k-d-n_B)]^T \quad (2.22)$$

Maka metode RLS estimator dapat diberikan sebagai berikut:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}[(k-1) + F(k)[y(k) - \varphi^T(k)\hat{\theta}(k-1)]] \quad (2.23)$$

$$F(k) = F(k-1) - \frac{F(k-1)\varphi^T(k-1)F(k-1)}{1 + \varphi^T(k-1)F(k-1)\varphi(k-1)} \quad (2.24)$$

Dalam memperoleh pengestimasi nilai parameter  $\hat{\theta}(k)$  dengan menambahkan bobot *error* prediksi nilai  $y(k) - \varphi^T(k)\hat{\theta}(k-1)$  untuk nilai estimasi  $\hat{\theta}(k-1)$  sebelumnya. Nilai  $F(k)$  adalah matrik gain estimasi (*weighting factors*) yang memperlihatkan bagaimana nilai koreksi dan nilai estimasi parameter sebelumnya harus digabungkan. Metode ini disebut dengan *Standart Least Square*, dimana metode ini cukup baik untuk mengestimasi nilai parameter secara *offline* atau dengan jumlah iterasi data yang terbatas. Namun untuk est-imasi secara *online* untuk jumlah iterasi yang tak terhingga, maka dari persamaan (2.24), matrik gain estimasi dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah iterasi, maka nilai matrik gain estimasi  $F(k)$  akan semakin mengecil dan akhirnya menuju nol atau dapat juga disebut *decreasing gain*. [18]. Apabila hal tersebut terjadi maka metode *Standart Least Square* akan kehilangan kemampuan untuk mengestimasi parameter. Untuk mengatasinya dikembangkan sebuah metode untuk memodifikasi nilai matrik *gain* estimasi agar tetap konstan dan tidak mengecil. Modifikasi nilai matrik *gain* estimasi dilakukan dengan cara memilih *gain* adaptasinya. [19]

Untuk itu formulasi dari  $F(k)$  dimodifikasi menjadi:

$$F(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} F(k-1) - \frac{F(k-1)\varphi^T(k-1)F(k-1)}{\lambda_2(k) + \varphi^T(k-1)F(k-1)\varphi(k-1)} \quad (2.25)$$

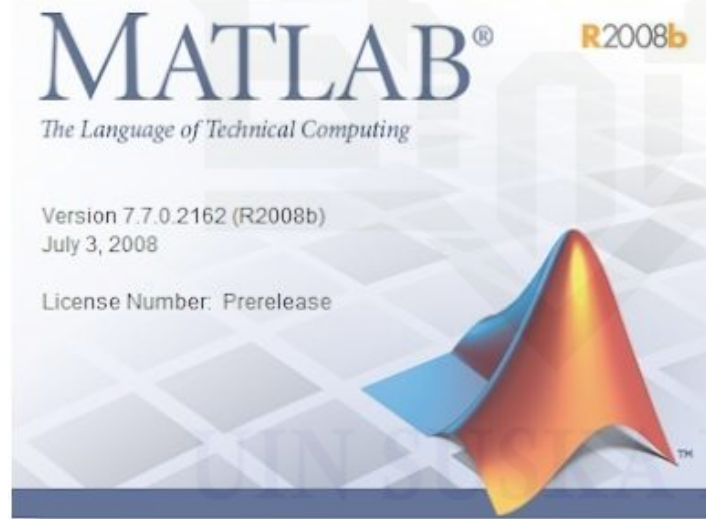


Hasil modifikasi diatas disebut *Extended Least Square* (ELS) dengan menggunakan *constant forgetting factor* agar estimasi yang dilakukan secara terus menerus tanpa batasan waktu, dengan nilai  $\lambda_1, \lambda_2$  sebagai berikut:

- 1) Dipilih nilai  $0 < \lambda_1 < 1$  dan  $\lambda_2 = 1$
- 2) Atau dipilih  $\lambda_1 = 1$  dan  $\lambda_2 > 1$

### 2.3.5 Perangkat Lunak MATLAB (*Matrix Laboratory*)

Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan sebuah program yang digunakan untuk analisa dan komputasi numerik. Matlab juga merupakan bahasa pemrograman tingkat lanjut yang dikembangkan oleh The Mathwork Inc, dibentuk dengan dasar pemikiran dan sifat matriks. [20] Matlab pertama kali digunakan untuk analisis numerik, aljabar *linear* dan teori tentang matriks. Pada masa ini Matlab sudah berkembang menjadi sebuah sistem yang lebih interaktif sekaligus menjadi bahasa pemrograman lanjutan untuk tujuan penelitian ilmiah, komputasi teknis dan visualisasi. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep *array/matrix* sebagai variabel elemennya tanpa membutuhkan pendeklarasian *array*.



Gambar 2. 15 Tampilan Awal Matlab



Pada penelitian kali ini matlab digunakan untuk menjadi media perhitungan dan analisa *plant* serta merancang program, dikarenakan Matlab dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk *plot* grafik. Pada *software* Matlab ada beberapa bagian penting yang digunakan untuk menjalankan program, diantaranya:

1. *Command window* berfungsi untuk mengetik program yang diinginkan
2. *Command history* berfungsi agar dapat menggunakan fungsi terakhir saat perancangan program
3. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab. Dan lain sebagainya.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

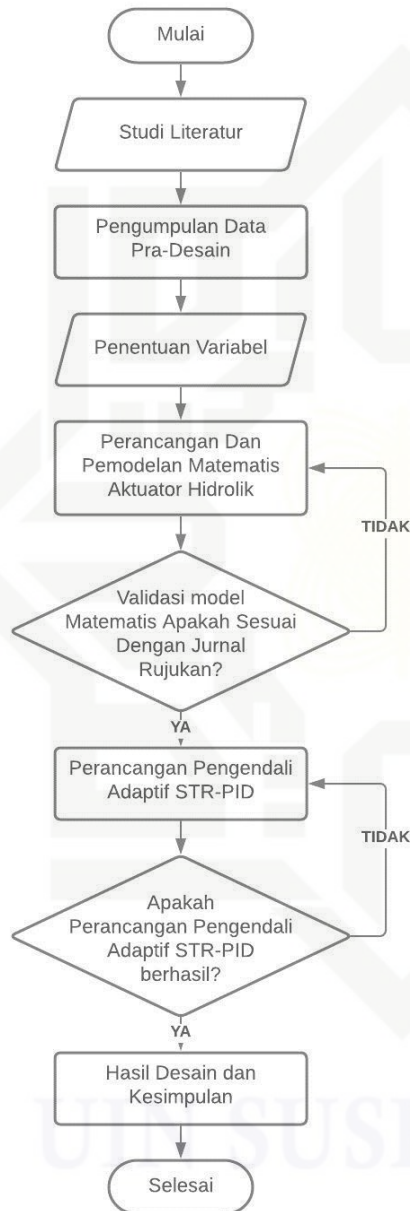


#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

### 3.1

#### Alur Penelitian (*Flow Chart*)

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa langkah, sebagai berikut:



Gambar 3. 1 *Flow Chart* Penelitian



### 3.2 Tahapan Penelitian

Sebelum memulai sebuah penelitian, dibutuhkan sebuah skema perencanaan penelitian, supaya hasil dari penelitian tersebut sesuai dengan apa yang telah direncanakan. Skema perencanaan yang dilakukan pada penelitian ini berupa pengujian *plant*, penentuan judul, hingga hasil yang diinginkan dalam sebuah penelitian harus dilakukan beberapa tahapan penelitian diantaranya:

#### 1. Studi literatur

Dilakukan *review* atau mengkaji beberapa pustaka dan penelitian terkait, dapat berupa artikel, jurnal ilmiah, buku yang telah diterbitkan mengenai *plan* hidrolik dan pengendali STR-PID.

#### 2. Pengumpulan data pra-desain

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data untuk mendapatkan pemodelan matematis dari aktuator hidrolik, data yang diperlukan adalah nilai *steady state* dari respon sistem, yaitu nilai  $t_{73}$  merupakan nilai waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai 73% dari *steady state*, supaya *transfer function* yang ditemukan dapat diubah ke dalam bentuk model struktur ARMA orde dua dan spesifikasi *output* kendali dalam bentuk persamaan diskrit orde 1.

#### 3. Penentuan Variabel

Data pra-desain yang sudah didapatkan menggunakan metode pendekatan Harriot dalam bentuk pemodelan matematis berbentuk *transfer function*, sebagai berikut:

$$TF = \frac{204,18}{s^2 + 14,523s + 81,833}$$

#### 4. Perancangan dan pemodelan matematis aktuator hidrolik

Pada tahapan ini dilakukan perancangan model matematis aktuator hidrolik pada simulasi Matlab, setelah perancangan pada *simulink* didapatkan maka akan didapat hasil *open loop* pada sistem.

#### 5. Validasi model matematis

Setelah mendapatkan pemodelan matematis dari kecepatan gerak aktuator hidrolik, kemudian pemodelan akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak Matlab. Kemudian hasil grafik yang ditunjukkan pada Matlab akan dibandingkan dengan jurnal rujukan yang ada pada studi literatur. Jika hasil yang disimulasikan sesuai



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dengan jurnal rujukan, maka penelitian akan dilanjutkan ke tahapan perancangan kendali STR-PID, jika belum akan dilakukan pengumpulan data kembali.

#### 6. Perancangan pengendali adaptif STR-PID

Pada tahap ini dilakukan perancangan pengendali adaptif STR-PID menggunakan estimasi ELS, agar sistem dapat selalu meng-*update* nilai parameter secara *real-time* ketika terjadi perubahan dalam waktu yang tak terbatas.

#### 7. Pengujian rancangan pengendali adaptif STR-PID

Modelan matematis akan dirancang serta diberikan kendali STR-PID dan akan disimulasikan pada *simulink* perangkat lunak Matlab, lalu sistem dianalisa untuk mengetahui pemodelan ini telah mencapai *setpoint* yang diinginkan. Apabila sistem tidak mencapai *setpoint* yang diinginkan maka akan kembali dilakukan perancangan STR-PID, jika sudah mencapai *setpoint* yang diinginkan maka tahapan selanjutnya adalah melakukan analisa hasil simulasi berdasarkan respon keluaran sistem.

#### 8. Hasil desain dan kesimpulan

Pada tahapan ini peneliti akan melakukan klarifikasi hasil dari simulasi sistem tersebut terhadap tujuan yang ingin dicapai. Apabila tujuan telah terpenuhi maka penelitian ini dapat dinyatakan berhasil, jika sebaliknya maka penelitian perlu dilakukan pemeriksaan ulang pada perancangan yang telah di didesain sebelumnya. Apabila masalah telah terselesaikan dan tujuan penelitian tercapai maka dapat ditariklah kesimpulan dari penelitian ini.

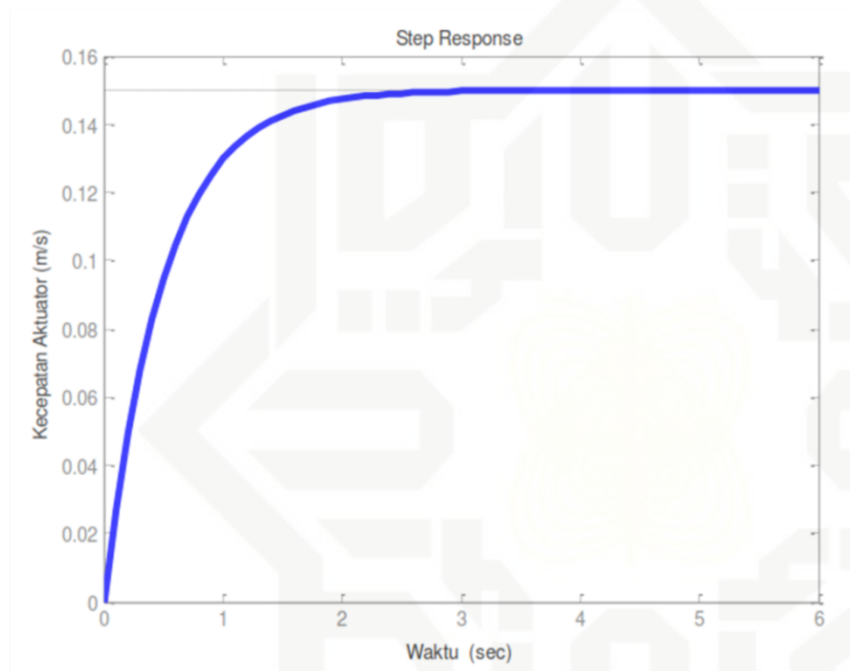
### 3.3 Pengumpulan Data

Agar dapat menentukan pemodelan matematis dari kecepatan gerak aktuator terhadap waktu pada sistem hidrolik, perlu dilakukan sebuah metode pendekatan matematis salah satunya dengan cara *experimental* dengan metode pendekatan seperti yang sudah dibahas pada sub bab II 2.27, salah satu metode pendekatan yang dapat digunakan adalah Harriot. Pada metode ini dibutuhkan nilai sampel  $t_{73}$ , dimana  $t_{73}$  merupakan waktu yang dibutuhkan respon sistem untuk mencapai 73% dari *steady state*, juga beberapa variabel lain yang dibutuhkan untuk mencari nilai dari pendekatan matematis

kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu menurut jurnal ilmiah Pauvel Jakuoubek [15] mengenai identifikasi *experimental*.

### 3.4 Model Matematis Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik

Grafik kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu didapatkan dari jurnal Masruki Khabib dkk [3], yang kemudian pada gambar respon ini kita dapat melakukan pendekatan pemodelan matematisnya, menggunakan identifikasi *experimental* dengan metode Harriot.



Gambar 3. 2 Respon Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Terhadap Waktu [3]

Menentukan pemodelan matematis kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu diatas dengan menggunakan metode Harriot dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Pertama kita harus menentukan nilai  $t_{73}$

$t_{73}$  merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 73% dari nilai *steady state*.

Tentukan terlebih dahulu nilai 73% dari nilai *steady state*, dikarenakan nilai *steady state* sama dengan *setpoint* = 0,15 m/s, maka:





$$0,15 \text{ m/s} \times 73\% = 0,109 \text{ m/s}$$

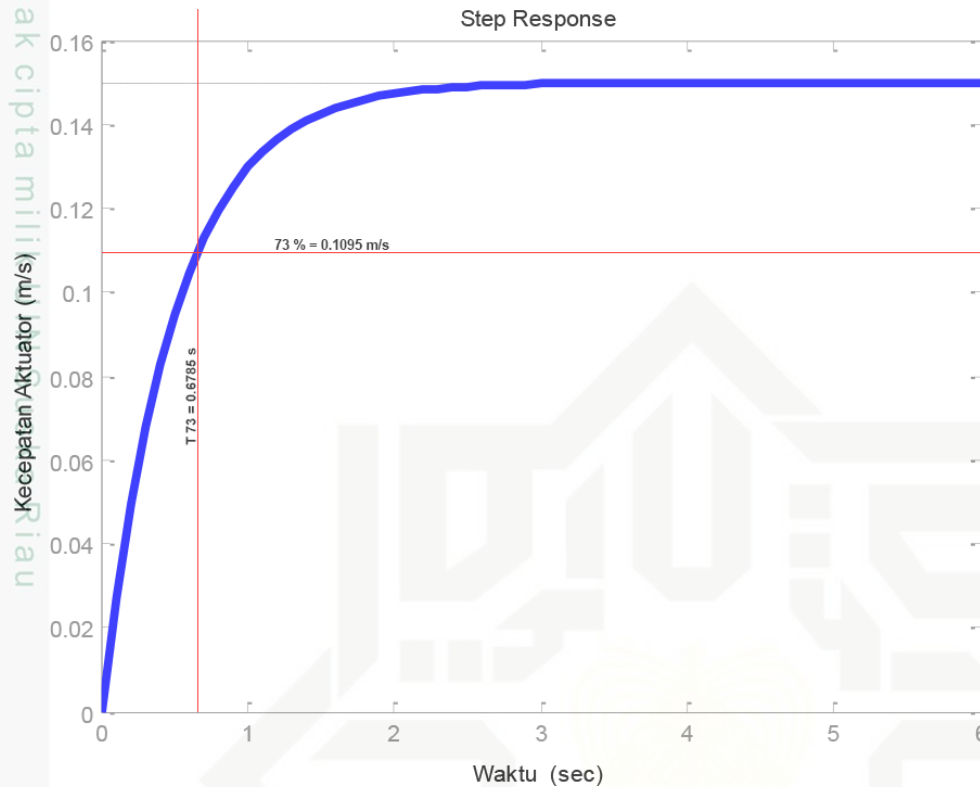
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 3 Cara Menentukan  $t_{73}$

Setelah melihat gambar grafik diatas dapat ditentukan bahwa:

$$t_{85,3} = 0,6785 \text{ s}$$

Dengan menggunakan metode Harriot dapat ditentukan persamaan matematis dari grafik diatas sebagai berikut:

$$G_H(s) = \frac{K}{(\tau_{H1}s+1)(\tau_{H2}s+1)} e^{-T_{dH}s} \quad (3.1)$$

Diberikan nilai masukkan  $X_{ss} = 1,5 \text{ s}$  dan respon keluaran  $Y_{ss} = 1,5$  berdasarkan gambar 3.2, sehingga nilai K dapat dirumuskan sebagai berikut

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} = \frac{1,5}{1,5} = 1 \quad (3.2)$$



Dimana dicari nilai  $\tau_{dH}, \tau_{H1} + \tau_{H2}$  pada persamaan:

$$\tau_{H1} + \tau_{H2} = \frac{0,6785}{1,3} = 0,522 \text{ s} \quad (3.3)$$

Sehingga dapat di substitusikan kedalam persamaan dan didapatkan:

$$ti = 0,5 \times 0,522 = 0,261 \text{ s} \quad (3.4)$$

Sehingga didapatkan nilai  $yi$  dari  $ti$  yaitu  $yi = 0,04$  dan dapat ditentukan  $yi/yss = 0,26 \text{ s}$  selanjutnya

didapatkan nilai dari persamaan  $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$  pada gambar 2.12 kurva harriot yaitu 0,5.

Substitusikan nilai  $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$  sehingga didapatkan nilai  $\tau_{H1}$  dan  $\tau_{H2}$  menjadi:

$$\tau_{H1} = \tau_{H1} + \tau_{H2} \times 0,5 \quad (3.5)$$

$$\tau_{H1} = 0,522 \times 0,5 = 0,26$$

$$\tau_{H2} = (\tau_{H1} + \tau_{H2}) - \tau_{H1} \quad (3.6)$$

$$\tau_{H2} = 0,522 - 0,26 = 0,26$$

Untuk mencari  $T_{dH}$  dapat digunakan persamaan berikut:

$$T_{dH} = 1,937t_{33} - 0,937t_{70} \quad (3.7)$$

Dimana nilai  $t_{33}$  dan  $t_{70}$  didapat pada grafik respon sistem seperti pada gambar

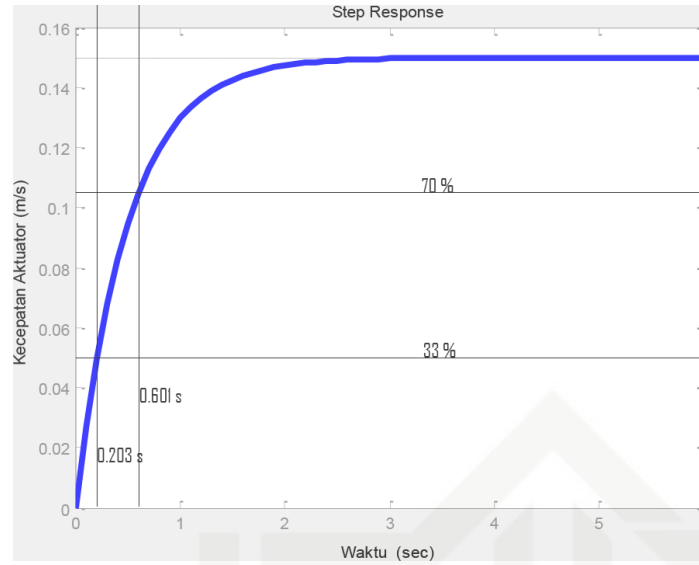
### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau



Gambar 3. 4 Cara Menentukan Nilai  $t_{33}$  dan  $t_{70}$

Sehingga:

$$T_{dH} = 1,937t_{33} - 0,937t_{70}$$

$$T_{dH} = (1,937 \times 0,203) - (0,937 \times 0,601)$$

$$T_{dH} = -0,169926$$

Dikarenakan nilai  $T_{dH} < 0$  maka nilai  $T_{dH}$  tidak dimasukkan ke dalam *transfer function*.

Sehingga didapatkan *transfer function*:

$$G_H(S) = \frac{1}{(0,26^s + 1) + (0,26^s + 1)} \quad (3.8)$$

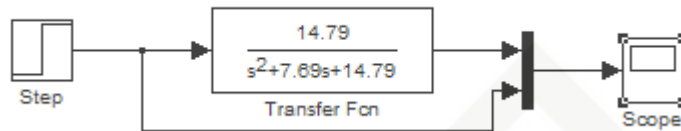
$$G_H(S) = \frac{1}{(0,0676 s^2 + 0,52 s + 1)}$$

Kemudian disederhanakan menjadi:

$$G_H(S) = \frac{14,79}{(s^2 + 7,69 s + 14,79)} \quad (3.9)$$

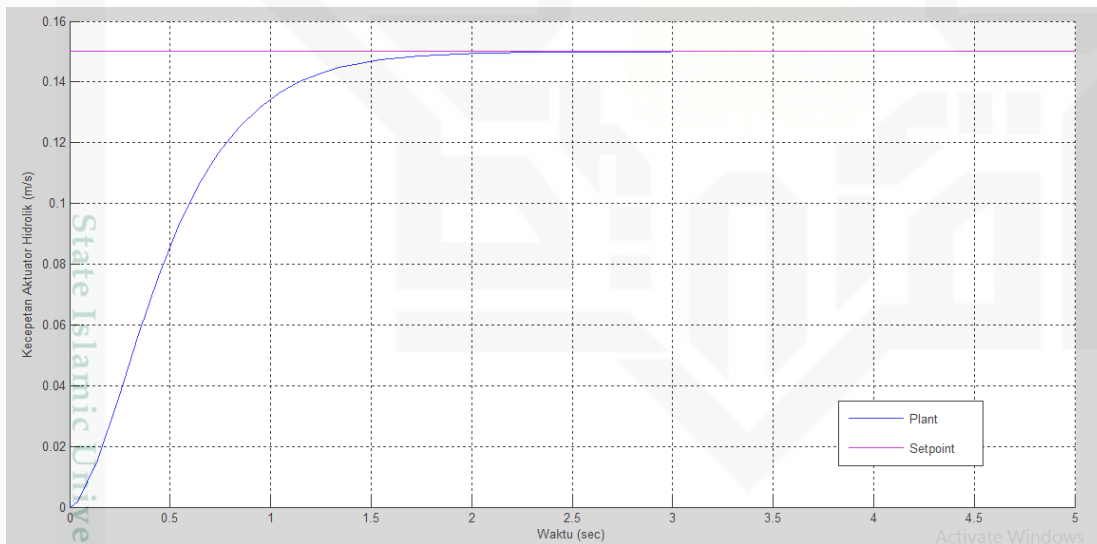
### 3.5 Validasi Model Matematis

Untuk mastikan hasil dari *transfer function* pada persamaan 3.9 valid, dilakukan lah sebuah proses validasi yang akan disimulasikan pada perangkat lunak Matlab menggunakan blok *simulink* dengan melihat grafik yang dihasilkan dan membandingkannya dengan grafik pada gambar 3.2.



Gambar 3. 5 Blok *simulink* diagram blok *open loop* kecepatan gerak aktuator hidrolik

Setelah disumulasikan pada simulink Matlab Maka akan didapatkan grafik pemodelan matematis kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu seperti gambar 3.6 berikut



Gambar 3. 6 Hasil Simulasi Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Metode Harriot

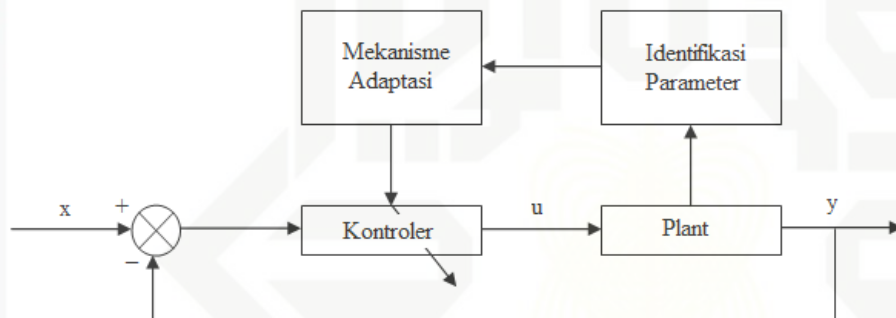
Sedangkan grafik model matematis kecepatan gerak aktuator hidrolik yang diperoleh dari studi literatur ditunjukkan pada gambar 3.2 diatas. Berdasarkan hasil validasi respon diatas dapat dilihat bahwa kita lihat hasil respon sesuai dengan





### 3.6 Perancangan kendali STR

Pada *plant* yang telah dirancang akan diterapkan sebuah ilmu kendali yang disebut sebagai kendali adaptif. Pada tugas akhir ini salah satu skema (diagram blok). Ilmu kendali adaptif yang akan dipakai adalah STR. Diagram dari STR memiliki 2 *loop*, *loop* pertama adalah standar *loop feedback* dan *loop* kedua adalah *loop* identifikasi dan desain performansi, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram blok STR [19] pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Diagram Blok STR [19]

Pada Gambar 3.17, terlihat ada 4 blok (komponen) utama yang membangun diagram STR, yakni:

1. Kontroler
2. *Plant*
3. Identifikasi Parameter
4. Mekanisme Adaptasi

Dua blok terakhir dari diagram STR adalah blok mekanisme adaptasi dan blok kontroler. Uraian kedua blok ini digabung menjadi satu karena saat pendesaian kendali juga secara tidak akan menformulasikan persamaan untuk mekanisme adaptasi. Pada desain STR ini menggunakan kendali PID, sehingga mampu mengendalikan *plant* agar memiliki respon yang diinginkan.



### 3.6.1 Perancangan Plant

*Plant* yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah kecepatan gerak aktuator hidrolik. Hal pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui persamaan matematis (*transfer function*) dari *plant*, lalu diubah menjadi persamaan diskrit. Dalam tugas akhir ini dipilih model pendekatan ARMA orde dua yang mendekati persamaan matematis *plant*. Struktur ARMA dapat digambarkan sebagai berikut [19]:

$$y(z) = \frac{z^{-d}(b_0 + \dots + b_{nB}z^{-nB})}{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (3.10)$$

Sedangkan *plant* yang akan dikendalikan memiliki orde dua sehingga:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{z^{-1}(b_0 + b_1z^{-1})}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (3.11)$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0z^{-1} + b_1z^{-2}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (3.12)$$

Didalam proses penurunan persamaan *plant* dalam pendekatan ARMA orde dua ini, dibutuhkan beberapa variabel diantaranya nilai  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_0$ , dan  $b_1$  untuk hasil keluaran dari persamaan ARMA. Nilai  $a_1$ ,  $a_2$  merupakan koefisien model MA dan  $b_0$ ,  $b_1$  merupakan koefisien dari model AR. Tahapan dalam penurunan rumus *plant* menjadi ARMA orde dua dapat dituliskan sebagai berikut:

Struktur rumus dari ARMA orde dua:

$$a_0Y(k) + a_1Y(k-1) + a_2Y(k-2) + \dots + a_nY(k-n_A) = b_0X(k-d) + b_1X(k-d-1) + \dots + b_{n_B}X(k-d-n_B) \quad (3.13)$$

Pengubahan nilai *transfer function plant* ke model ARMA orde dua dengan transformasi bilinear dapat dilakukan dengan cara berikut:

$$s = \frac{2}{T_s} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \quad (3.14)$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{14,79}{\left(\frac{2}{0,05} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)^2 + 7,69 \left(\frac{2}{0,05} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right) + 14,79}$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{14,79}{\left(40 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)^2 + 7,69 \left(40 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right) + 14,79}$$



$$\begin{aligned}\frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{14,79}{1600 \times \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)^2 + 307,6 \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right) + 14,79} \\ \frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{14,79(1+z^{-1})^2}{1600 \times (1-z^{-1})^2 + 307,6(1-z^{-1})(1+z^{-1}) + 14,79(1+z^{-1})^2} \\ \frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{14,79(1+2z^{-1}+z^{-2})}{1600(1-2z^{-1}+z^{-2}) + 307,6(1-z^{-2}) + 14,79(1+2z^{-1}+z^{-2})} \\ \frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{14,79+29,58z^{-1}+14,79z^{-2}}{1600-3200z^{-1}+1600z^{-2}+307,6-307,6z^{-2}+14,79+29,58z^{-1}+14,79z^{-2}} \\ \frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{14,79+29,58z^{-1}+14,79z^{-2}}{1922,39-3170,42z^{-1}+1307,19z^{-2}} \\ (1922,39-3170,42z^{-1}+1307,19z^{-2})(y(z)) &= \\ (14,79+29,58z^{-1}+14,79z^{-2})(x(z)) &= \\ 1922,39y(z)-3170,42y(z^{-1})+1307,19y(z^{-2}) &= 29,58x(z^{-1})+14,79x(z^{-2})\end{aligned}$$

Untuk memenuhi persamaan 3.13 maka:

$$1922,39y(k) - 3170,42y(k-1) + 1307,19y(k-2) = 29,58x(k-1) + 14,79x(k-2)$$

$$1922,39y(k) = 3170,42y(k-1) - 1307,19y(k-2) + 29,58x(k-1) + 14,79x(k-2)$$

$$y(k) = 1,649207y(k-1) - 0,679918y(k-2) + 0,01538x(k-1) + 0,007693x(k-2)$$

Sehingga persamaan 3.12 dapat ditulis :

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0z^{-1}+b_1z^{-2}}{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}}$$

Dimana :

$$a_1 = -1,6492$$

$$a_2 = 0,6799$$

$$b_0 = 0,0153$$

$$b_1 = 0,0076$$



Sehingga:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{0.0153z^{-1} + 0.0076z^{-2}}{1 - 1.6492z^{-1} + 0.6799z^{-2}} \quad (3.15)$$

### 3.6.2 Identifikasi Paarameter

Untuk mencari nilai parameter dari *plant* seperti yang telah diuraikan diatas, maka diperlukan sebuah metode algoritma tertentu. Pada tugas akhir ini di pilih algoritma ELS.

Dengan vektor parameter:

$$\theta = [a_1 a_2 b_0 b_1] \quad (3.16)$$

Menjadi:

$$\theta = [-1.6492, 0.6799, 0.0153, 0.0076]$$

Dan vektor regresi :

$$\varphi^T(k-1) = [-y(k-1), -y(k-2), \dots -u(k-1), u(k-2)] \quad (3.17)$$

### 3.6.3 Kendali PID Diskrit

Kendali PID kontinyu secara umum ditulis sebagai berikut [21]:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = H_{PID}(s) = K \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d s}{N}} \right] \quad (3.18)$$

Dimana :

$K$  = Proportional Gain

$T_i$  = Aksi Integral

$T_d$  = Aksi Derivative

$T_d/N$  = Filtering dari Aksi Derivative

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mendiskritkan persamaan kontinyu, akan tetapi bentuk diskrit akan berakhir sama. Pada penelitian ini akan





menggunakan metode *Backward Difference Approximation* dimana *factors (derivative)*, akan didekati dengan pendekatan  $\frac{1-q^{-1}}{T_s}$ , dan  $1/s$  (integral) akan didekati dengan  $\frac{T_s}{1-q^{-1}}$ . Dari persamaan 3.18, akan didapatkan *transfer function* sebagai berikut:

$$TF = K \left[ 1 + \frac{T_s}{T_i} \frac{1}{1-q^{-1}} + \frac{\frac{NT_d}{T_d+NT_s}(1-q^{-1})}{1 - \frac{T_d}{T_d+NT_s}q^{-1}} \right] \quad (3.19)$$

Dengan menyelesaikan persamaan 3.19 diatas akan didapatkan bentuk perbandingan *polynomial*  $R(q^{-1})$  dan  $S(q^{-1})$  menjadi persamaan 3.20, dan persamaan 3.21.

$$R(q^{-1}) = k_1 + k_2 q^{-1} + k_3 q^{-2} \quad (3.20)$$

$$S(q^{-1}) = (1 - q^{-1})(1 + k_0 q^{-1}) \quad (3.21)$$

Sehingga,

$$H_{PID}(q^{-1}) = \frac{R(q^{-1})}{S(q^{-1})}$$

Dimana:

$$k_0 = \frac{T_d}{T_d + NT_s} \quad (3.22)$$

$$k_1 = K \left[ 1 + \frac{T_s}{T_i} - N k_0 \right] \quad (3.23)$$

$$k_2 = K \left[ k_0 \left( 1 + \frac{T_s}{T_i} + 2N \right) - 1 \right] \quad (3.24)$$

$$k_3 = -K k_0 (1 + N) \quad (3.25)$$

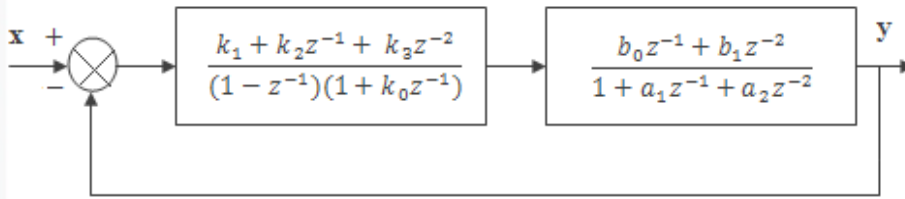
Sama halnya dengan kendali PID kontinyu, PID juga memiliki 4 parameter yakni  $k_0, k_1, k_2, k_3$ . Karena dalam desain kendali PID pada Tugas Akhir ini kendali PID diskrit akan dipilih sebagai fungsi dari parameter *plant* yakni  $k_0, k_1, k_2$ , dan  $k_3$  yang akan menggantikan seluruh konstanta dari PID diskrit. Parameter inilah yang akan menjadi parameter yang akan di *tunning* oleh kendali STR Maka bentuk *transfer function* dari kendali PID diskrit akan menjadi:

$$\frac{u(q^{-1})}{e(q^{-1})} = \frac{k_1 + k_2 q^{-1} + k_3 q^{-2}}{(1 - q^{-1})(1 + k_0 q^{-1})} \quad (3.26)$$

Atau dalam bentuk transformasi z:



$$\frac{u(z)}{e(z)} = \frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} \quad (3.27)$$



Gambar 3. 8 Diagram Blok *Plant* dengan Kendali PID Diskrit

CLTF (*close loop transfer function*) dari gambar 3.18 diatas adalah :

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\left( \frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} \right) \left( \frac{b_0 z^{-1} + b_1 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \right)}{1 + \left[ \left( \frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} \right) \left( \frac{b_0 z^{-1} + b_1 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \right) \right]} \quad (3.28)$$

Jika dipilih  $a_1 = \frac{k_2}{k_1}$ ,  $a_2 = \frac{k_3}{k_1}$  dan  $k_0 = \frac{b_1}{b_0}$  akan didapatkan persamaan:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{\frac{k_1 b_0 z^{-1}}{(1 - z^{-1})}}{1 + \frac{k_1 b_0 z^{-1}}{(1 - z^{-1})}} \quad (3.29)$$

Dan bentuk fungsi alih CLTF akhri adalah seperti dibawah:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{k_1 b_0 z^{-1}}{1 + (k_1 b_0 - 1) z^{-1}} \quad (3.30)$$

Terlihat persamaan CLTF *plant*, dengan *time constan* fungsi nilai parameter  $k_1 * b_0$ .

$$\frac{y(z)}{x(x)} = \frac{K \frac{T_s}{2\tau + T_s} z^{-1}}{1 + \frac{T_s - 2\tau}{T_s + 2\tau} z^{-1}} \quad (3.31)$$

Dengan:

$$k_1 = \frac{1}{b_0} \frac{k T_s}{T_s + 2\tau} \quad (3.32)$$



Maka akan didapatkan nilai *Gain overall* (K) *plant* dan parameter  $k_0, k_1, k_2$  dan  $k_3$  sebagai berikut:

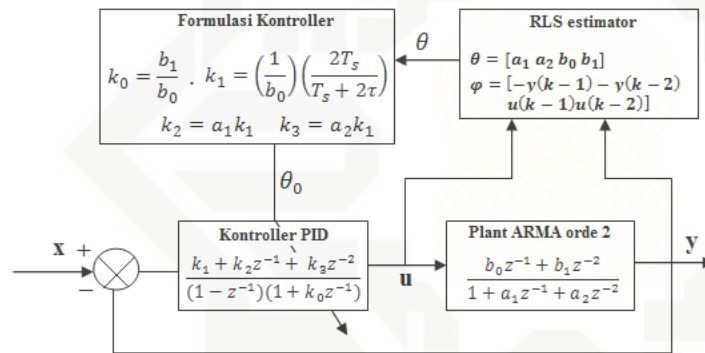
$$k_0 = \frac{b_1}{b_0}$$

$$k_1 = \left( \frac{1}{b_0} \right) \left( \frac{kT_s}{T_s + 2\tau} \right)$$

$$k_2 = a_1 k_1$$

$$k_3 = a_2 k_1$$

Maka semua parameter kontroler PID telah ditemukan dalam bentuk parameter *plant*, bentuk lengkap diagram blok STR dengan PID adaptif pada gambar 3.9 dibawah:



Gambar 3. 9 Diagram Blok Perhitungan Parameter

Sinyal kendali yang akan diumpankan ke *plant* dalam bentuk persamaan yaitu sebagai berikut:

$$\frac{u}{e} = \frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 + z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})}$$

$$u(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1}) = e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2})$$

$$u(1 + k_0 z^{-1} - z^{-1} - k_0 z^{-2}) = e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2})$$

$$u(1 + (k_0 - 1)z^{-1} - k_0 z^{-2}) = k_1 e + k_2 e z^{-1} + k_3 e z^{-2}$$



$$u + (k_0 - 1)uz^{-1} - k_0uz^{-2}$$

$$= k_1e + k_2ez^{-1} + k_3ez^{-2}$$

$$u(k) + (k_0 - 1)u(k - 1) - k_0u(k - 2) = k_1e + k_2e(k - 1) + k_3e(k - 2)$$

$$u(k) = (k_0 - 1)u(k - 1) + k_0u(k - 2) + k_1e(k) + k_2e(k - 1) + k_3e(k - 2) \quad (3.33)$$

Setelah didapatkan semua komponen dari kendali STR-PID kemudian dapat dilakukan perancangan kendali STR-PID ke plant kecepatan aktuator hidrolik. Dari hasil kendali STR-PID terhadap kecepatan gerak aktuator hidrolik dapat dilakukan analisa respon waktu sistem agar dapat menganalisa secara matematis dari hasil keluaran yang dihasilkan oleh kendali STR-PID.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisa yang dilakukan pada kecepatan gerak aktuator mesin press pada proses *deep drawing* dapat diambil kesimpulan bahwa dengan menggunakan pengendali STR-PID, kecepatan aktuator dapat mengikuti *setpoint* yang diberikan, serta tidak terdapat *overshoot* dan *error steadystate*, STR-PID juga dapat mempertahankan respon yang baik ketika diberikan gangguan. Berdasarkan respon STR-PID dalam mengatasi gangguan yang diasumsikan terjadi pembebanan beban aktuator hidrolik sehingga menyebabkan perlambatan kecepatan 10% dari keadaan stabil, gangguan yang diberikan pada respon pada detik ke 12, ketika respon diberikan gangguan pada sistem, pengendali STR-PID dapat mengembalikan ke keadaan stabil sesuai dengan *setpoint* yang diberikan, sistem akan kembali ke keadaan stabil setelah 3.5 detik setelah dibeikan gangguan.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan pengendai STR-PID dengan Metode ARMA orde dua dan estimasi PID menggunakan algoritma ELS, diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan algoritma dan kombinasi pengendali lain agar dapat mempercepat waktu recovery saat terjadi gangguan.



## DAFTAR PUSTAKA

- [11] M N Masrukhan, M P Mulyo, D Ajiatmo., M Ali,” Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan PID Dengan *Tunning Ant Colony Optimization (ACO) Controller* ” Program Studi Teknik Elektro Universitas Darul ‘Ulum, Jombang,. 2016.
- [12] Waluyo, A Fitriansyah, Syahril., “Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatn Putaran Motor DC Beban Menggunakan Metode Heuristik”. Program Studi Teknik Elektro ITENAS,Bandung., 2013.
- [13] M. Kabib, I.M.L Batan, B. Pramujati dan A.S. Pramono “Analisa Pemodelan dan Simulasi Gerak Aktuator Punch pada Mesin Pres untuk Proses Deep Drawing” Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV, Surabaya., 7-8 Oktober 2015
- [14] M N F Muizz., “Rancang Bangun Pengendalian Level Air Otomatis Pada tangki Dengan Servo Valve Berbasis PID Controller”, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya, 2019.
- [5] N A Oktafiani, K Astrowulan, R Effendhianto A K. “Perancangan Kontroller PID STR (Self Tunning Regulator) Direct Untuk Mengendalikan Frekuensi Pembangkit Listrik Mini Hidro” Institute Teknologi Sepuluh November, 2012
- [16] Sharma, P.C.; *A Textbook of Production Engineering*; S. Chand & CompanyLtd, New Delhi. 2002
- [17] Mudia, Halim. “Perancangan dan Implementasi Kontroler PID Adaptif dengan Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa” Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. 2015.
- [18] Mursyitah, Dian. “Studi Performansi Pengendali *Sliding Mode* dan PID pada Pengendalian Kecepatan Motor DC”, UIN Suska Riau. 2014.
- [9] Ranald, V. Giles, B.S., M.S. in C.E., *Theory and Problems of Fluids Mechanics and Hydraulics*, McGraw-Hill Inc., New York. 1986.
- [10] Hyprowira, “Jenis Pompa Hidrolik” 31 Agustus 2019, [online], Tersedia : <https://hyprowira.com/blog/jenis-pompa-hidrolik/> , [diakses : 20 Januari 2020].
- [11] Penambang, “Basic Mechanic , Hydrolic System”, 13 November 2014, [online], Tersedia: <https://penambang.com/rotary-actuator/> , [diakses :20 Januari 2020].
- [12] V. Inc, “What are Single Acting and Double Acting Hydraulic Cylinders”, *Medium*, 18 Desember 2017, [online]. Tersedia : <https://medium.com/@vcompmississaug/what-are-single-acting-double-acting-hydraulic-cylinders-817d6e6f30a8> , [diakses 15 Maret 2020].
- [13] P. Andi, “Pressure Gauge”, Rabu 5 September 2012, [online], Tersedia : <http://tentangkostku.blogspot.com/2012/09/pressure-gauge-pg.html> , [diakses 15 Maret 2020].

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan sumber.  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



- [14] Eugene, D, Ostergaard ; *Advanced Die Making*; Prentice Hall; New Jersey. 1967
- [15] I.P. Jakoubek, “Experimental Identification of Stable Nonoscillatory Systems from Step Responses by Selected Method”, *Konference Studenske Tvuurci-Cinnosti*, 2009.
- [16] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, fifth edition, New Jersey: Prentice Hall, 2010.
- [17] A.Vireza., M.A.Muslim., G.D.Nugroho. “Identifikasi Self Tuning PID Kontroler Metode Backward Rectangular Pada Motor DC”. 2014.
- [18] S. Bahera,dkk. “*Optimal Pole Placement for a Self Tuning PID Controller*”. IEEE. India. 2017.
- [19] E.Iskandar “Sistem Pengaturan Adaptif”. ITS. 2012
- [20] M. Kadaffi, “*Penerapan Simulink untuk Simulasi*”, Universitas Mercu Buana, Jakarta: 2011.
- [21] Y Y Martawiraya, S Raharno, D Sadono,”*Preliminary Study of a Deep Drawing Process Modeling for AL-5083 Alumunium Material*”. Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2014
- [22] F Vellorsten, Z Hu, “*Analysis of punch velocity dependent process window in micro deep drawing*”, BIAS Bremer Institut fuer Angewandte Strahltechnik, Bremen, Germany, 2010

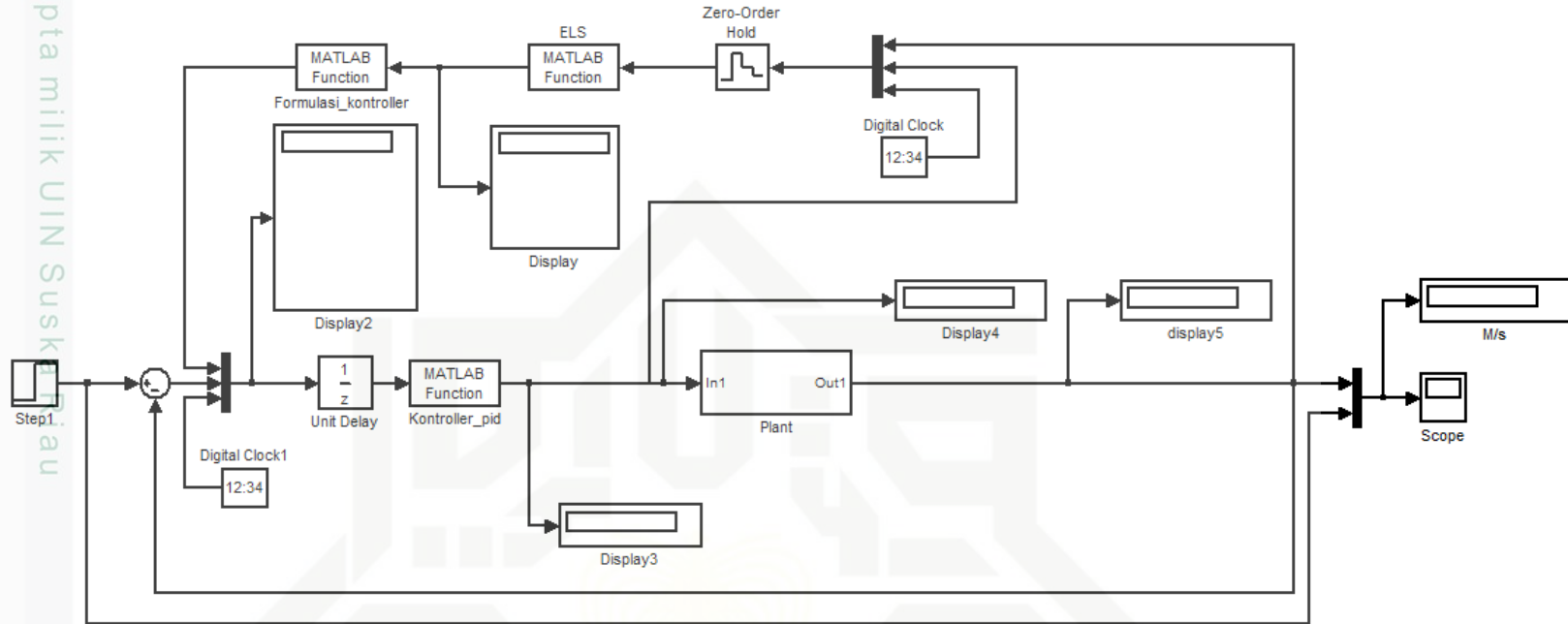
Hal ini Diadungi Undang-Undang  
1. Dianggap mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LAMPIRAN A-1

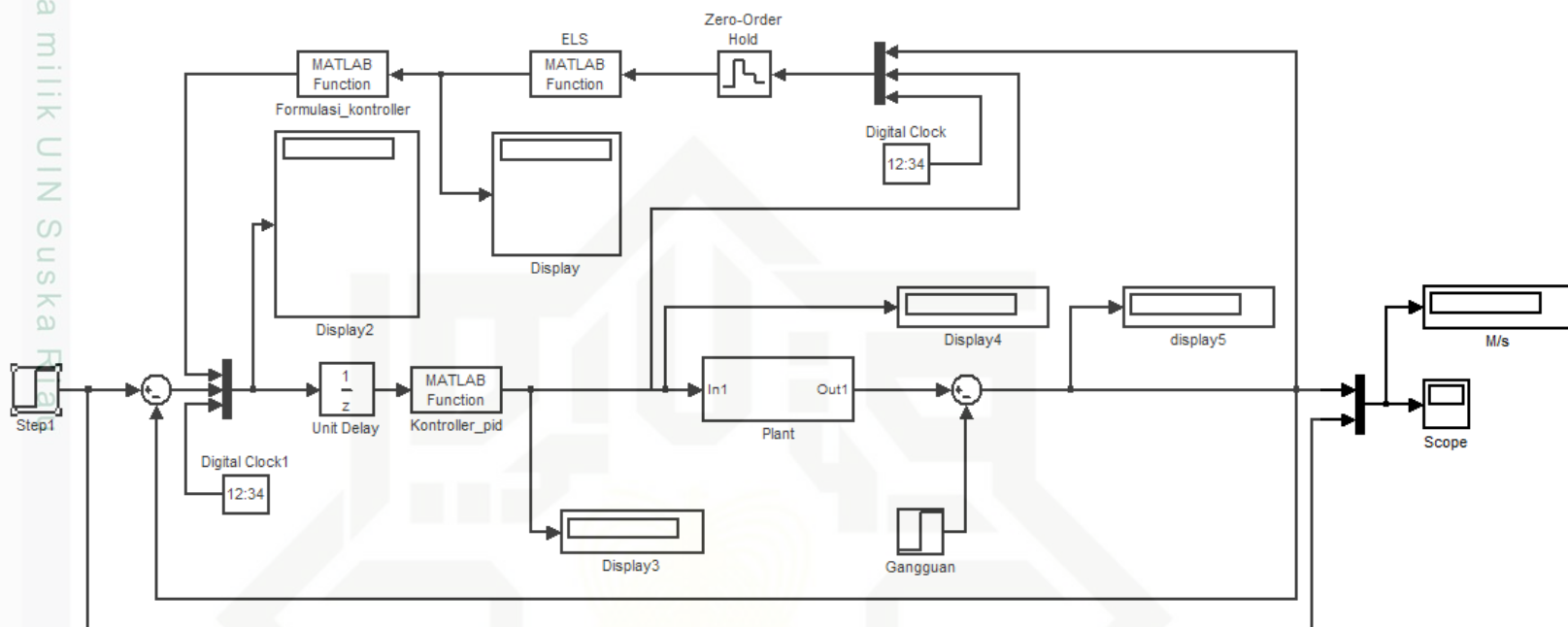
Blok Simulink STR-PID ketika mencapai *setpoint* 0,15 m/detik pada Aktuator Hidrolik





## LAMPIRAN A-2

Blok Simulink STR–PID ketika diberi gangguan perubahan beban yang menyebabkan penurunan kecepatan sebesar 10% pada Aktuator Hidrolik



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

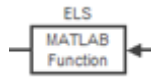
© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic U



## LAMPIRAN B-1

### Program M-Filr pada blok ELS



```
function Doutput=DBismillah1(Ddata)
global tep xk yk tetha_p vip lamda_p alfa1 alfa2
tep=Ddata(3);
if tep==0
    alfa1=1;
    alfa2=2;
    tetha_p=[-1.6492; 0.6799; 0.0153; 0.0076];

    vip=[0;0;0;0];
    lamda_p=0.05*eye(4,4);
    xk=[0;0;0];
    yk=[0;0;0];
end
xk(1)=Ddata(1);
yk(1)=Ddata(2);
for i=1:2
    vip(i)=-yk(i+1);
end
for i=3:4
    j=i-2;
    vip(i)=xk(j+1);
end
tetha_p=tetha_p+lamda_p*(yk(1)-vip'*tetha_p)*vip;
Doutput(1)=tetha_p(1);
Doutput(2)=tetha_p(2);
Doutput(3)=tetha_p(3);
Doutput(4)=tetha_p(4);
```

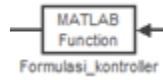
UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## LAMPIRAN B-2

### Program M-File pada Blok Formulasi Kontroller



```

function Bk_all=Bformulasi_kontroller(Bdata)
global Ba1 Ba2 Bb0 Bb1 BTs Btau Bk0 Bk1 Bk2 Bk3
Ba1=Bdata(1);
Ba2=Bdata(2);
Bb0=Bdata(3);
Bb1=Bdata(4);
BTs=0.00045;
Btau=0.04;
if Bb0==0
    Bb0=0.01;
end
if Bb1==0
    Bb1=0.01;
end
if Ba1==0
    Ba1=0.01;
end
if Ba2==0
    Ba2=0.01;
end
Bk0=Bb1/Bb0;
Bk1=(1/Bb0)*(1*BTs/(2*Btau+BTs));
Bk2=Ba1*Bk1;
Bk3=Ba2*Bk1;
Bk_all(1)=Bk0;
Bk_all(2)=Bk1;
Bk_all(3)=Bk2;
Bk_all(4)=Bk3;
  
```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## LAMPIRAN B-3

### Program M-File pada Blok Kontroller PID



```
function Cukk=Ckontroller_pid(Cdata)
global te Cekm2 Cek Cekm1 Cuk Cukm1 Cukm2 Ck0 Ck1 Ck2 Ck3
te=Cdata(6);
if te==0
    Cek=0;
    Cekm1=0;
    Cekm2=0;
    Cuk=0;
    Cukm1=0;
    Cukm2=0;
else
    Ck0=Cdata(1);
    Ck1=Cdata(2);
    Ck2=Cdata(3);
    Ck3=Cdata(4);
    Cek=Cdata(5);
    Cekm2=Cekm1;
    Cekm1=Cek;
    Cukm2=Cukm1;
    Cukm1=Cuk;
    Cuk=-(Ck0-1)*Cukm1+Ck0*Cukm2+Ck1*Cek+Ck2*Cekm1+Ck3*Cekm2;
end
Cukk=Cuk;
```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Muhammad Husnul Fikri, lahir pada tanggal 03 Februari 1994 di Kota Bukittinggi, Sumatra Barat. Putra pertama dari pasangan Zulkarnain dan Yetriza, yang beralamat di Jl. Lumba-lumba GG. Pari no. 11 RT 002/ RW 009, Tangkerang Selatan, Kecamatan Bukit Raya, Kota Pekanbaru, Riau. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Sekolah Dasar pada tahun 2007 di SD Negeri 036 Bukit Raya, Kota Pekanbaru, setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di

SMP Negeri 13 Pekanbaru dan lulus pada tahun 2010. Penulis melanjutkan pendidikan di SMK Negeri 2 Pekanbaru dan lulus pada tahun 2013 pada jurusan Teknik Elektronika Industri, kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, fakultas Sains dan Teknologi dengan Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Elektronika Instrumentasi dan lulus pada tahun 2021.

Selama perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan akademik, beberapa kegiatan sosial masyarakat diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATE) Dengan ketekunan, dan motivasi yang tinggi untuk terus berusaha dan belajar, penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir ini dan mampu berkontribusi sebagai referensi pada penelitian selanjutnya.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikan tugas akhir yang berjudul “ **Perancangan Kendali Aktuator Hidrolik Mesin Press Pada Proses Deep Drawing dengan Pengandali STR-PID**”.

Untuk Menjalin Shilaturahmi penulis dapat dihubungi melalui :

Nomor Handpone : 0812-7683-0626

Email : [husnulfikri75@gmail.com](mailto:husnulfikri75@gmail.com)